

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

CONSOMMATION D'OXYGÈNE ASSOCIÉE AUX
CHANGEMENTS DE DIRECTION CHEZ LES
JOUEURS DE SOCCER

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR
NESRINE DAHMANE

AOÛT 2017

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon directeur de mémoire :

Mr. Alain Steve Comtois

Pour le temps qu'il m'a consacré, sa patience, et ses précieuses directives.

Je tiens aussi à remercier vivement les membres du jury, qui me font un grand honneur en acceptant de juger ce travail.

Je remercie les participants qui ont bien voulu participer à l'expérience. Sans eux, l'étude n'aurait pu être réalisée.

Je remercie toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Et finalement, je remercie mes parents et toute ma famille pour avoir été toujours là dans les moments les plus difficiles.

« Je vous aime, que Dieu vous protège et vous préserve en bonne santé ».

TABLE DE MATIÈRE

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I.....	2
PROBLÉMATIQUE	2
1. Question de recherche :	4
2. Hypothèses :	4
3. Objectif :	4
CHAPITRE II	6
CADRE THEORIQUE.....	6
1. La capacité a répéter des sprints-et évaluations :	6
2. la capacité a répéter des changements de direction (Repeated Change of Direction Ability : CODA)et évaluation	13
2.1. Test en forme de T (Pauole et coll., 2000) :	15
2.2. Test de 20 m zig zag (Thomas, 2005):	16
2.3. Test de Bangsbo avec changement de direction :	17
2.4. Test de sprint navette (Rampinini et coll., 2007):	18
2.5. Yo-Yo Intermittent Recovery Test (Bangsbo, 1994):	19
2.6. Test Illinois (Getchell, 1979):.....	20
3. Relation entre sprint répété et sprints répétés avec changement de direction	21
4. Sprints répétés avec changement de direction et soccer :	22
5. Soccer et VO ₂ max:	26
CHAPITRE III:.....	32
MÉTHODOLOGIE	32
1. Les participants :	32
2. Critères d'inclusion :	33
3. Critères d'exclusion :	33
4. Conditions (variables indépendantes) :	33
5. Procédure :	34
5.1 Déroulement expérimental :	34
5.2 Matériel et mise en place :	35

6.	Le schéma expérimental :.....	35
6.1	Situation n1 : Sprint linéaire	36
6.2	Situation n2 : Sprint Quadrangulaire	37
6.3	Situation n3 : Sprint en M.....	38
7.	Mesures (variables dépendantes) :	39
7.1	Perception de l'effort	39
7.2	Consommation d'oxygène mesurée avec un analyseur métabolique portable (K4B2	40
8.	Quantification et analyse :.....	43
CHAPITRE IV:		44
RÉSULTATS		44
CHAPITRE V.....		51
DISCUSSION		52
1.	Vitesse de course et changement de direction.....	52
2.	Consommation d'oxygène et changement de direction :	55
3.	Nombre de sprints et consommation d'oxygène	56
4.	Perception de l'effort :	57
5.	Limites	57
CONCLUSION		59
APPENDICE		60
BIBLIOGRAPHIE		67

LISTE DES FIGURES

FIGURES	PAGE
2.1 T-TEST (PAUOLE ET COL.,2000)	15
2.2 TEST DE 20 M ZIG ZAG (THOMAS,2005)	16
2.3 BANGSBO SPRINT TEST (BANGSBO,1994).....	17
2.4 TEST DE SPRINT NAVETTE (RAMPININI ET COLL.,2007).....	18
2.5 YO-YO INTERMITTENT RECOVERY TEST (BANGSBO,1994).....	19
2.6 TEST ILLINOIS (GETCHELL,1979)	20
3.1 SPRINT LINÉAIRE DE 40M	36
3.2 SPRINT 40M EN FORME DE CARRÉ	37
3.3 SPRINT 40M EN FORME DE M	38
3.4 ÉCHELLE MODIFIÉE DE BORG (FOSTER ET COLL., 2001) :	40
3.5 TRACÉ TYPE DE LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE (VO ₂) ENREGISTRÉ DURANT DES SPRINTS RÉPÉTÉS	43
4.1 LA VITESSE ET LE CHANGEMENT DE VITESSE EN FONCTION DES SPRINTS RÉPÉTÉS POUR CHAQUE SCHÉMA DE COURSE.	48
4.2 RELATION ENTRE LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE MESURÉE DURANT LES SPRINTS ET LA VITESSE MOYENNE ATTEINTE POUR CHAQUE SCHÉMA DE COURSE.....	49
4.3 RELATION ENTRE LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE MESURÉE DURANT LES SPRINTS ET LE TEMPS CUMULATIF CALCULÉ POUR CHAQUE SCHÉMA DE COURSE.....	50
4.4 LA PERCEPTION DE L'EFFORT SUR L'ÉCHELLE DE BORG POUR CHAQUE SCHÉMA DE COURSE ET POUR CHAQUE SPRINT	51

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAUX	PAGE
2.1 FRÉQUENCE, DURÉE MOYENNE ET POURCENTAGE DU TEMPS PASSE AU COURS DES DIFFÉRENTS DÉPLACEMENTS PAR MATCH POUR LES JOUEURS PROFESSIONNELS ET AMATEURS (MOHR ET COLL.,2003).....	8
2.2 TABLEAU RÉCAPITULATIF DES TESTS QUI ÉVALUENT LA RSA DE DIVERSES DISCIPLINES (SPENCER ET COLL.,2005)	10
2.3 PROTOCOLES DES TESTS DE SPRINT RÉPÉTÉS (RÉPÉTITIONS X DISTANCES) UTILISÉS SUR LES JOUEURS DE SOCCER ÉLITES OU PROFESSIONNELS> 16 ANS (THOMAS HAUGEN,2014).TSD : DISTANCE TOTALE DE SPRINT LA RÉCUPÉRATION (REC) : LE TEMPS ENTRE CHAQUE SPRINT.....	12
2.4 CLASSIFICATION DES CHANGEMENTS DE DIRECTION (MODIFIÉ DE CHELLADURAI, 1976).....	14
2.5 ANALYSES DU TEMPS DE MOUVEMENTS DU SPRINT EN SOCCER (SPENCER ET COLL., 2005).....	25
2.6 PROFIL PHYSIOLOGIQUE DES JOUEURS DE SOCCER MASCULINS /PHYSIOLOGICAL PROFILE OF MALE SOCCER PLAYERS (\pm SD)(STOLEN ET COLL.,2005)	30
2.7 LE VO ₂ MAX DES FOOTBALLEURS DE HAUT-NIVEAU (DELLAL,2008).....	31
4.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES PARTICIPANTS	44
4.2 VITESSE MOYENNE POUR CHAQUE SCHÉMA DE COURSE.....	45
4.3 LA CONSOMMATION D'OXYGÈNE (VO ₂) ASSOCIÉ AU TEMPS D'EXÉCUTION DES SPRINTS POUR CHAQUE SCHÉMA DE COURSE.	46

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

BPM	Battement par minute
K4b ²	Un analyseur métabolique portable
V _{O₂}	Consommation d'oxygène
[La]	concentration sanguine (ou musculaire) de lactate
RSA	Repeated Sprint Ability
CODA	Change of Direction Ability
Linéaire	Schéma linéaire
Quadra	Schéma quadrangulaire
M	schéma en forme de M
FC	Fréquence cardiaque
ANOVA	Analyse de Variance
RPE	Ratings of Perceived Exertion (perception de l'effort)
FIFA	La Fédération Internationale de Football Association

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude était d'évaluer la consommation d'oxygène (VO_2) suite à trois types de changement de direction chez des joueurs de soccer. Dix ($n=10$) joueurs de soccer sénior (AAA) ont effectué trois schémas de sprints répétés sur une distance de 40 m, soit linéaires, quadrangulaires (Quadra), et en forme de M (M). L'ordre de passage a été établi aléatoirement comme suit : 4 joueurs ont commencé avec le schéma linéaire, 3 autres ont commencé avec le schéma Quadra, et 3 autres ont commencés avec le schéma en forme de M. Chaque schéma de course a été exécuté de la manière suivante : sprint sur une distance de 40 m répétés 4 fois toutes les 20 secondes ($4 \times 40\text{-m}/20\text{-secondes}$) où chaque schéma de course était séparé d'une période de repos/récupération de 10 min. Chaque participant lors du passage des épreuves était équipé d'un analyseur métabolique portable (K4b², Cosmed, It) afin de mesurer la consommation d'oxygène (VO_2). Des mesures de la perception de l'effort à l'aide de l'échelle de Borg (RPE) étaient complétées après chaque répétition, après chaque type d'exercices et finalement à la fin des 3 types. Trois indices de performance ont été calculés : la vitesse moyenne pour chaque schéma de courses, le temps cumulatif pour chaque schéma de courses, et le rendement (calculé en utilisant le VO_2 et la vitesse de course). Les résultats indiquent que la vitesse moyenne et le temps cumulatif atteints étaient significativement différents ($p<0.05$) entre les schémas de course, toutefois, les résultats du VO_2 moyen atteint indiquent aucune différence significative ($p>0.05$). Lorsque le rendement ($\text{mlO}_2/\text{kg}/\text{m}$) est utilisé, on note une différence où le rendement du sprint linéaire > sprint Quadra > sprint M. L'analyse statistique (ANOVA mesures répétées) sur le rendement démontre que le schéma de sprint linéaire est significativement différent ($p<0.05$) du schéma Quadra ainsi que du schéma en M, cependant aucune différence significative ($p>0.05$) n'a été retrouvée entre les schémas Quadra et M. La perception de l'effort était similaire pour chacun des schémas de course, aucune différence significative a été révélée ($p>0.05$), sauf pour une augmentation significative du RPE après chaque sprint pour chaque schéma de course, respectivement. En conclusion, les différences observées avec le rendement pour chacun des schémas de course suggèrent que les changements de direction agissent sur l'importance de la filière énergétique aérobie (VO_2) lors de la réalisation de changements de direction de plus en plus complexe.

MOTS CLÉS : soccer, football, sprints répétés, sprints répétés avec changement de direction, dépenses énergétiques, analyseur métabolique portable.

INTRODUCTION

Le football ou appelé aussi soccer en Amérique du Nord, a été créé en 1860 par les Britanniques puis exporté depuis le début du 20^e siècle où il commence à être pratiqué aux États-Unis et au Canada.

Le soccer ne nécessite pas beaucoup d'équipements ou d'infrastructures ce qui lui a permis de gagner en popularité, il s'est doté en 1904 d'une fédération internationale, la FIFA.

En 2006, il est pratiqué par environ 264 millions de joueurs à travers le monde, le soccer est le sport le plus pratiqué dans la majorité des pays.

Au Canada, malgré que le soccer ne soit pas un sport très médiatisé, il est le principal sport pratiqué avec le hockey sur glace et le Football canadien.

En 2010, au Québec, selon le site officiel de la Fédération de soccer: « on compte presque 200,000 joueurs/joueuses soit quatre fois plus qu'il y a 20 ans. Notons que quelque 39 % des membres sont des femmes. 25 000 entraîneurs, 7 000 arbitres, 50 000 bénévoles et 300 clubs ».

La popularité de ce sport a aussi touché les chercheurs, qui partout dans le monde, se penchent chaque jour à analyser, et à étudier les demandes techniques, tactiques, physiques, mais surtout physiologiques d'une telle activité.

Dans ce même contexte, notre étude va s'intéresser de plus près à la physiologie du soccer, et plus précisément, à une activité très spécifique au soccer qui est les changements de direction et aux dépenses énergétiques qui lui sont associées.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

Le soccer comme nombreux sport, tel que le hand-ball, le basket-ball et le hockey sont une succession de phases ou de cycle d'accélération et de décélération avec des changements de direction dans tous les sens (à droite à gauche, en diagonale...)

Il est constitué par des efforts intenses enchainés par intermittence et caractérisés par des actions fréquentes de sauts, de sprints et de changement de direction alternés par des activités de marche ou de course à faible intensité (Weston et coll., 2007; Catarina et coll., 2004; Mohr et et coll., 2003; Bangsbo et coll., 1991)

En effet pour le soccer, les duels pour la récupération de la balle sont basés sur la puissance et la rapidité des joueurs. Pour déséquilibrer un adversaire ou pour mieux se placer par rapport à ce dernier ou par rapport au ballon, il importe de sprinter, soit en ligne droite soit en changeant de direction (Cazorla et coll., 2008).

Certains chercheurs ont indiqué que la capacité de changer de direction tout en sprint est un facteur déterminant de la performance sportive (Sheppard et Young., 2006)

D'autres chercheurs ont même qualifié cette capacité comme étant un critère d'évaluation des joueurs de soccer (Brughelliet coll., 2008). En effet les actions supplémentaires de décélération et de la ré-accélération, nécessitent sans doute un plus grand effort musculaire et par conséquent des coûts d'énergies croissantes (une plus grande contribution glycolytique, plus de [La].....)

Beaucoup d'entraîneurs essayent de travailler des exercices à caractère intermittent lors des entraînements afin d'optimiser la consommation maximale d'oxygène (VO_2

max) des joueurs, autrement dit pour permettre aux joueurs de travailler pour des durées plus longues, l'exercice continu, à la même intensité avec une accumulation de lactate réduite; sauf que pour le soccer les exigences réelles du terrain ne sont pas seulement des efforts intermittents linéaires, il y a d'autres éléments. Ce sont les exercices intermittents avec changement de direction avec des angles et des changements de direction très variés.

Les changements de direction qui sont plus spécifiques au match de soccer sollicitent des réponses physiologiques totalement différentes et des réponses physiologiques engendrées par une traditionnelle course en ligne droite.

Les réponses physiologiques aux efforts intermittents à haute intensité (sprint) en ligne droite sont bien connues (Billat et coll., 2009; Pauole et coll., 2000). Cependant si des études précédentes (Thomas et Williams.2005; Bangsbo.1994) ont été menées sur la dépense énergétique pour un déplacement en ligne droite ou bien en navette (changement de direction de 180 degrés) (Getchtell., 1979), il y a peu d'étude sur les dépenses énergétiques pour les sprints avec changement de direction (Aziz et Chuan., 2004 ; Cazorla., 2008).

Dans ce même contexte, c'est les réponses physiologiques pour les sprints avec changement de direction qui nous intéressent. C'est pour cela qu'au cours de notre recherche nous allons demander à des joueurs de soccer d'essayer différents modèles de courses avec changement de direction et nous allons quantifier la réponse physiologique à savoir : la consommation d'oxygène(VO_2).Ce qui va nous donner une idée plus précise sur les coûts énergétiques qui leur sont associés.

1. QUESTION DE RECHERCHE :

Quel est l'effet des changements de direction sur la consommation d'oxygène à la course, par exemple chez les joueurs de soccer ?

2. HYPOTHÈSES :

Hypothèse 1

Les dépenses énergétiques seront augmentées lorsqu'on introduit des changements de direction.

Hypothèse 2

La perception de l'effort sera directement proportionnelle à la complexité du schéma de course, c.-à-d., le schéma de course avec le nombre plus élevé de changements de direction obtiendra la perception de l'effort le plus élevé.

3. OBJECTIF :

Mesurer l'effet de changement de direction sur la consommation d'oxygène.

Donc, le présent mémoire présente au chapitre 2 une revue de la littérature scientifique tandis que le troisième chapitre est consacré à la méthodologie utilisée pour la réalisation de cette recherche. Le quatrième chapitre rapporte quant à lui les résultats obtenus lors des tests. Le cinquième et dernier chapitre se compose d'une discussion générale et d'une conclusion.

CHAPITRE II

CADRE THÉORIQUE

1. LA CAPACITÉ A RÉPÉTER DES SPRINTS-ET ÉVALUATIONS :

Le terme capacité à répéter des sprints (Repeated Sprint Ability, RSA) a été présenté pour la première fois par Fitzsimons et coll. (1993), il a été défini par Dawson et coll. (1993) comme la capacité de l'athlète à reproduire des efforts de sprint maximaux entrecoupés par des périodes de récupération.

Défini comme étant la qualité physique la plus importante chez les joueurs de soccer actuels (Cazorla et coll., 1998), les mêmes auteurs ont rapporté que durant un match de soccer un sprint est réalisé chaque 90 secondes avec une durée de 2 à 4 secondes chacun.

Les sprints répétés ont été définis par Bishop et coll. (2002) comme étant l'aptitude à sprinter, à récupérer et à sprinter à nouveau sans perdre trop en qualité par rapport à la vitesse, c.-à-d., absence de fatigue. Les analyses de jeu ont montré que plus de 90% de tous les sprints dans les matchs sont plus courts que 20 m. (Vigne et coll., 2010). Pour leurs parts, Ingebrigtsen et coll. (2015) ont rapporté que les joueurs effectuent généralement 1 sprint / accélération par minute par match et que la durée moyenne du sprint est de 2 à 4 s et 90% de tous les sprints sont inférieurs à 20 m.

Les auteurs O'Donoghue et coll. (2002) notaient que lors d'une période de 15 minutes de jeu, les joueurs effectuaient 30 sprints, dont 14 inférieurs à 2 secondes et 3 supérieurs à 6 secondes et plus.

D'autres auteurs (Spencer et coll., 2005) rapportent que 10 à 20 sprints de haute intensité sont réalisés chaque 70 secondes. Pour leur part Rampini et coll. (2007); et Castagna et coll. (2007) ont mis en évidence l'importance de la répétition des sprints à haute intensité (maximale) entrecoupés par des périodes de récupération dans la performance de la plupart des sports collectifs. L'importance des sprints a été confirmée par Di Salvo et coll.(2007); et Faude et coll.(2012) en rapportant que, malgré leurs faibles pourcentages, les sprints linéaires précèdent 45% de tous les buts. Cependant, il est pertinent de noter que la quantification des sprints est différente d'un auteur à l'autre certain les quantifie à partir de 19 km.h-1 et d'autres à partir de 25 voire même 30 km.h-1. On note par conséquent une large différence entre les sprints quantifiés durant un match de soccer d'un chercheur a un autre.

Dans ce même contexte, lors d'une étude de Mohr et coll. (2003) ont présenté un tableau récapitulatif de la fréquence des sprints avec la durée moyenne et le pourcentage du temps passé au cours des différents déplacements par match (mentionnant aussi une différenciation entre les joueurs professionnels et amateurs) (Tableau 2.1).

	Debout	marche	jogging	Course lente	Course arrière	Course modérée	Course rapide	sprint	total
Fréquence(nbre)									
Professionnels	163±6	379±10*	316±15	198±8	73±4*	109±7*	69±5*	39±2*	1346±34*
Amateurs	163±10	398±12	321±13	185±8	60±4	96±5	49±3	26±1	1297±27
Durée moyenne(s)									
Professionnels	7.0±0.4	6.4±0.3	3.0±0.1	2.6±0.0	2.7±0.1	2.2±0.0	2.1±0.0	2.0±0.0	3.5±0.1
Amateurs	7.1±0.4	6.4±0.3	3.1±0.1	2.7±0.1	2.7±0.1	2.4±0.0	2.2±0.0	1.9±0.0	3.6±0.1
% temps									
Professionnels	19.5±0.7	41.8±0.9	16.7±0.9*	9.5±0.4	3.7±0.3*	4.5±0.3*	2.8±0.2*	1.4±0.1*	100.0
Amateurs	18.4±1.5	43.6±0.8	19.1±0.9	9.4±0.4	2.9±0.2	3.8±0.3	1.9±0.1	0.9±0.1	100.0

Tableau 2.1 Fréquence, durée moyenne et pourcentage du temps passé au cours des différents déplacements par match pour les joueurs professionnels et amateurs (Mohr et coll, 2003)

L'évaluation des sprints répétés est de plus en plus présente ces dernières années, ceci est un tableau récapitulatif de Spencer et coll. (2005) qui présente les différents tests qui ont évalué la capacité à répéter des sprints et les différentes méthodes qui ont été utilisées et ceci pas seulement pour le soccer mais aussi pour d'autres sports (avec aussi la durée de sprint, la fréquence et la distance) (Tableau2.2).

Study	Sport	Subjects	Positional role	Method	Sprint duration (sec)	Sprint distance (m)	Sprint frequency	Recovery time between sprints (sec)	Change in motion* (sec)
Dawson et al. ^[7]	Australian Rules	22 E M	All players	Video	2.4	18.6	24	300	6.3
Hahn et al. ^[8]	Australian Rules	2 T M	All players	Manual		15.5	127 ^a		
McKenna et al. ^[9]	Australian Rules	4 E M	All players	Video	2.7 ^b		98 ^b	73 ^b	
Norton et al. ^[10]	Australian Rules	53 E M	All players	Computer			21	56	
Lothian and Farrelly ^[11]	Field hockey	12 T F	All players	Video	3.1		75		
Spencer et al. ^[12]	Field hockey	14 E M	All players	Video	1.8		30	140	5.4
		3 E M	Full-backs	Video	1.5		18	233	5.4
		4 E M	Half-backs	Video	1.6		22	191	5.8
		2 E M	Inside-backs	Video	2.2		39	108	5.3
		5 E M	Strikers	Video	1.9		42	100	5.0
McErlean et al. ^[13]	Gaelic football	40 T M	All players	Audio	3.9 ^b		80 ^b	46 ^b	
		40 T F	All players	Audio	4.3 ^b		62 ^b	59 ^b	
Docherty et al. ^[13]	Rugby union	13 T M	Forwards	Video	1.8		10	240	
		14 T M	Backs	Video	2.3		31	77	
Duthie et al. ^[14]	Rugby union	31 E M	Forwards	Video	2.2		11	436	7.5
		16 E M	Backs	Video	2.9		27	178	7.4
Bangsbo et al. ^[1]	Soccer	14 E M	All players	Video	2.0		19	284	-7
		4 E M	Defenders	Video	2.0		16	338	
		7 E M	Mid-fielders	Video	2.1		17	318	
		3 E M	Forwards	Video	1.7		24	225	
Barros et al. ^[17]	Soccer	25 E M	All players	Video		13	55	98	
Drust et al. ^[18]	Soccer	23 E M	All players	Video			519 ^b	40 ^b	4.0
Mayhew and Wengert ^[3]	Soccer	3 E M	All players	Video	4.4 ^b				6.1
Mohr et al. ^[2]	Soccer	18 E M	All players	Video	2.0		39	138	
		24 E M	All players	Video	1.9		26	208	
Reilly and Thomas ^[4]	Soccer	40 E M	All players	Manual-audio		15.7	62	90	8.4
		11 E M	Mid-fielders	Manual-audio		15.6	68	79	8.0
		8 E M	Full-backs	Manual-audio		15.1	52	104	6.3
		14 E M	Forwards	Manual-audio		16.4	65	83	6.7

Study	Sport	Subjects	Positional role	Method	Sprint duration (sec)	Sprint distance (m)	Sprint frequency	Recovery time between sprints (sec)	Change in motion ^a (sec)
Withers et al. ^[5]	Soccer	7 E M	Centre-backs	Manual-audio		14.1	59	92	6.7
		20 E M	All players	Video	3.7 ^b	22.4 ^b	~30 (97 ^b)	~180 (56 ^b)	
		5 E M	Full-backs	Video	3.7 ^b	24.3 ^b	~38 (110 ^b)	49 ^b	
		5 E M	Centre-backs	Video	3.6 ^b	20.8 ^b	~19 (80 ^b)	68 ^b	
		5 E M	Mid-fielders	Video	3.8 ^b	22.6 ^b	~29 (110 ^b)	49 ^b	
		5 E M	Forwards	Video	3.5 ^b	21.2 ^b	~32 (88 ^b)	61 ^b	
Yamanaka et al. ^[6]	Soccer	10 E M	All players	Audio	3.0		35	154	7.3
		39 T M	All players	Audio	4.5		44	123	5.9
Allen ^[19]	Touch rugby	12 E M and F	All players	Video		10.1	29		

a Using standard categories of motion (stand, walk, jog, stride and sprint).

b Denotes studies that have combined the motions of sprinting and striding into one category.

audio = analysis via audio play-back, no visual coding; **computer** = analysis via computer tracking; **E** = elite; **F** = females; **M** = males; **manual** = analysis via real-time recording/charting; **manual-audio** = analysis via combination of audio and manual charting; **T** = trained; **video** = analysis via video play-back and usually computer software.

Tableau 2.2 Tableau récapitulatif des tests qui évaluent la capacité à répéter des sprints (RSA) de diverses disciplines (Spencer et coll 2005)

Si on passe en revue les recherches précédentes qui ont été réalisées sur des joueurs de soccer, on remarque que les protocoles varient énormément selon les auteurs (distance sprint, durée de repos et répétitions)

Ceci est un tableau récapitulatif (Tableau 2.3) des protocoles d'évaluation en sprint répété :

Study	Subjects	Protocol	Rec. (s)	TSD (m)	Mean time (s)	Equipment / setup & starting procedures
Krstrup et al., 2010	23 sr. females	3x30m	25	90	4.86 ±0.06	Time IT (SWE) / not reported
Gabbett, 2010	10 sr. females	6x20m	<15	120	3.48 ±0.08	Not reported / not reported
Aziz et al., 2007	37 jr. males	6x20m	20	120	3.08 ±0.09	Swift Perf. (AUS) / standing start 0.4 m behind gate
Wong et al., 2012	18 sr. males	6x20m	25	120	Not reported	Brower (USA) / standing start 0.5 m behind gate
Aziz et al., 2008	13 U23 males	8x20m	20	160	3.08 ±0.08	Swift Perf. (AUS) / standing start 0.4 m behind gate
Mujika et al., 2009 ^B	28 U17-18 males	6x30m	30	180	4.42 ±0.14	Alge-Timing (AUT) / standing start 0.3 m behind gate
Dellal & Wong, 2013	8 sr. males	10x20m	25	200	2.96 ±0.08	Microgate (ITA) / not reported
Chaouachi et al., 2010	23 sr. males	7x30m	25	210	4.46 ±0.16	Brower (USA) / standing start 0.5 m behind gate
Meckel et al., 2009	33 jr. males	6x40m	~25	240	5.85 ±0.25	Alge-Timing (AUT) / standing start 0.3 m behind gate
Meckel et al., 2009	33 jr. males	12x20m	~17	240	3.23 ±0.06	Alge-Timing (AUT) / standing start 0.3 m behind gate
Impellizzeri et al., 2008 ^A	30 sr. males	6x20+20m	20	240	7.12 ±0.17	Micogate (ITA) / not reported
Tønnessen et al., 2011	20 jr. males	10x40m	60	400	5.32 ±0.17	Biorun (NOR) / standing start from floor pod
Little & Williams, 2007	6 sr. males	15x40m	~8-12	600	5.73 ±0.07	Brower (USA) / not reported
Little & Williams, 2007	6 sr. males	40x15m	~20-30	600	2.59 ±0.05	Brower (USA) / not reported

Tableau 2.3 Protocoles des tests de sprints répétés (répétitions x distances) utilisés sur les joueurs de soccer élités ou professionnels > 16 ans (Thomas Haugen, 2014). TSD : distance totale de sprint; Rec : le temps de récupération entre chaque sprint.

2. LA CAPACITÉ A RÉPÉTER DES CHANGEMENTS DE DIRECTION (REPEATED CHANGE OF DIRECTION ABILITY : CODA) ET ÉVALUATION

Sheppard et Young (2006) ont proposé une définition de la capacité à répéter des changements de direction comme étant : "un mouvement rapide du corps entier avec changement de vitesse ou de la direction en réponse à un stimulus". Cette définition inclut au même temps la prise de décision ainsi que la vitesse de réaction.

Selon les mêmes auteurs, la performance au sprint dans les sports collectifs n'est pas seulement liée aux composantes de vitesse (soit accélération, vitesse maximale et maintien de vitesse), mais aussi à la faculté du joueur à changer le plus rapidement possible de direction sur des distances variées sans perte d'équilibre et de vitesse.

Mareno et coll. (1995) et Bloomfield et coll. (1994) l'ont défini comme étant l'aptitude d'un participant à changer plusieurs fois de direction en combinant accélération, explosivité et vitesse de réaction.

Barlett 's et coll. (1996) ont défini le changement de direction comme étant le changement de l'orientation du vecteur du mouvement du corps.

Vertegen et Marcello (2001) ont défini le changement de direction comme étant la capacité de freiner d'une façon rapide et efficace, de changer d'orientation et d'accélérer, tout en maintenant le contrôle moteur.

Sheppard et young (2006) ont classé les changements de direction en 4 catégories :

- Changement de direction simple : absence de l'incertitude spatiale et temporelle
- Changement de direction temporelle : mouvement pré planifié avec incertitude temporelle

- Changement de direction spatiale : incertitude spatiale combinée avec une synchronisation pré planifié du mouvement
- Changement de direction universelle absence de certitude spatiale et de certitude temporelle (cette catégorie s'applique fortement au sport à caractère intermittent qui comporte plusieurs incertitudes telles que la trajectoire de la balle, la position de l'adversaire.

Agility classification	Definition	Example of sporting skill
Simple	No spatial or temporal uncertainty	Gymnast's floor routine: pre planned activity, initiated when the athlete desires, with movements that the athlete has pre planned. Stimulus is the athlete's own movement and the physical domain in which they are executing the skill
Temporal	Temporal uncertainty, but movement is pre planned (spatial confidence)	Athletics sprint start: pre planned activity, initiated in response to a stimulus (starter's pistol) wherein there is no certainty as to exactly when the pistol will fire
Spatial	Spatial uncertainty, but timing of movement is pre planned (temporal confidence)	Volleyball or racquet sport service receive: the umpire determines a narrow window of time wherein the server must serve the ball to the opponent. However, there is no certainty on the part of the receiver as to where the service will be directed
Universal	Spatial and temporal uncertainty	Ice hockey or football: during offensive and defensive plays, the athletes cannot anticipate with certainty when or where opposition players will move to

Tableau 2.4 Classifications des changements de direction modifiés de (Chelladurai, 1976)

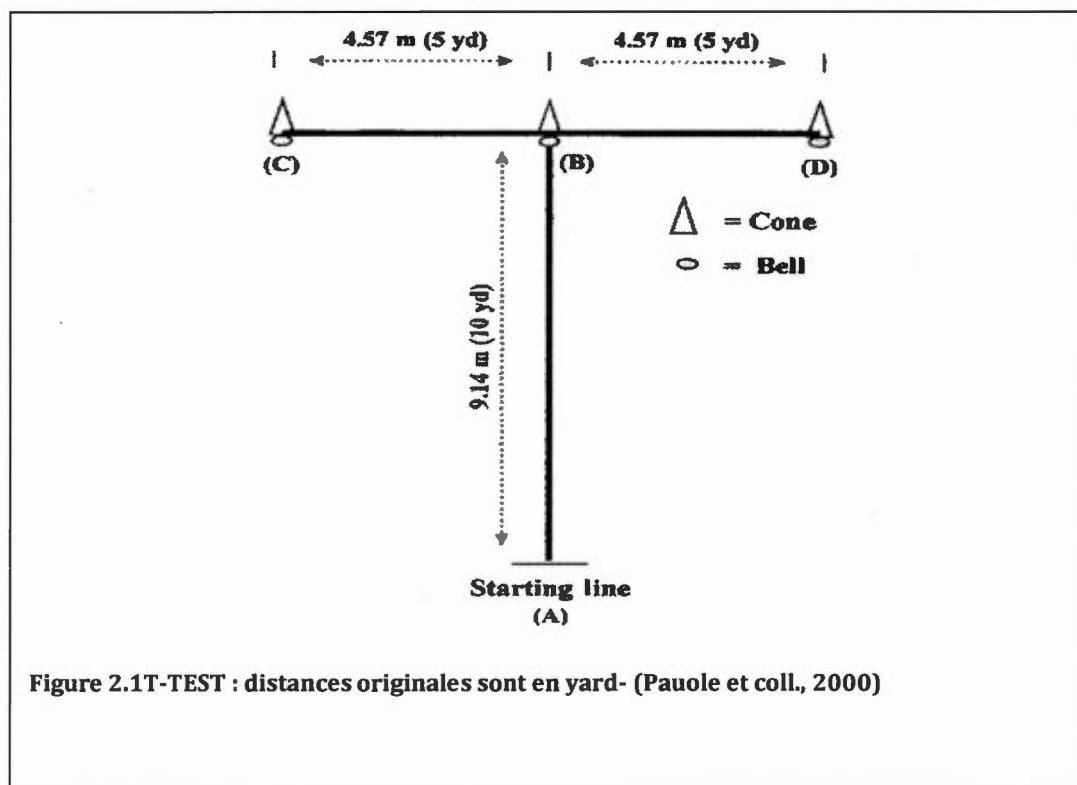
Récemment, plusieurs tests de sprints avec changements de direction ont été proposés et qui sont considérés les plus appropriés et les mieux adaptés à chaque discipline. On note par exemple, des tests tels que:

- 6×40m (navette : 20 + 20m) et 7×34,2m (3 changements de direction) pour le soccer
- 10×15m en navette pour les basketteurs
- 10×30m avec trois changements de direction pour les hockeyeurs.

Les tests les plus populaires pour la mesure des changements de direction sont :

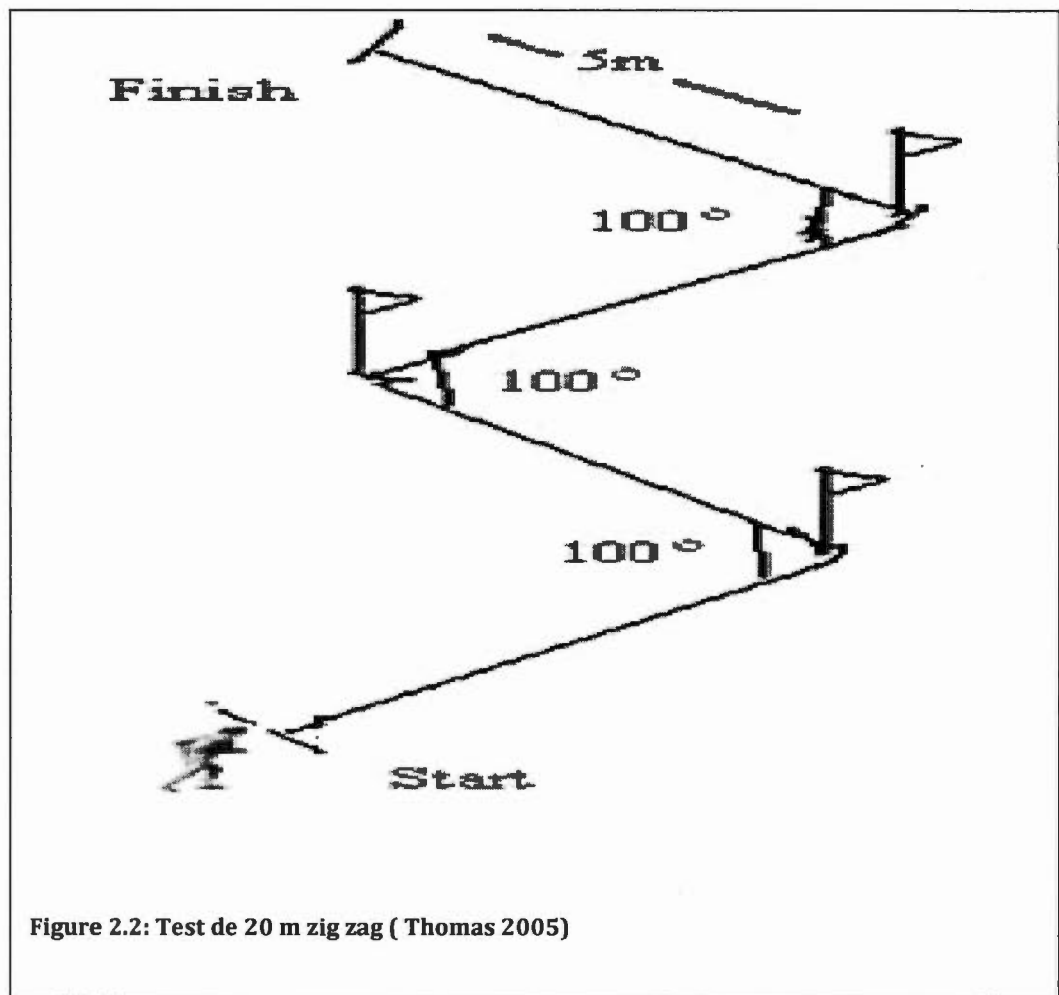
2.1. Test en forme de T (Pauole et coll., 2000) :

Le participant commence les deux pieds derrière une ligne de départ A, il effectue par la suite une course avant vers un cône B, la touche avec la main gauche et se déplace latéralement vers le cône C, la touche avec la main gauche et se déplace toujours latéralement pour toucher le cône D avec la main droite et revient toucher le cône B avec la main gauche et revient en course arrière au point de départ A (Figure 2.1).



2.2. Test de 20 m zig zag (Thomas, 2005):

Le participant doit effectuer une course de 20m en forme de zig zag avec un virage de 100 degrés chaque 5m. Le test est basé sur l'accélération et la décélération et le contrôle de l'équilibre lors des changements de direction (Figure 2.2).

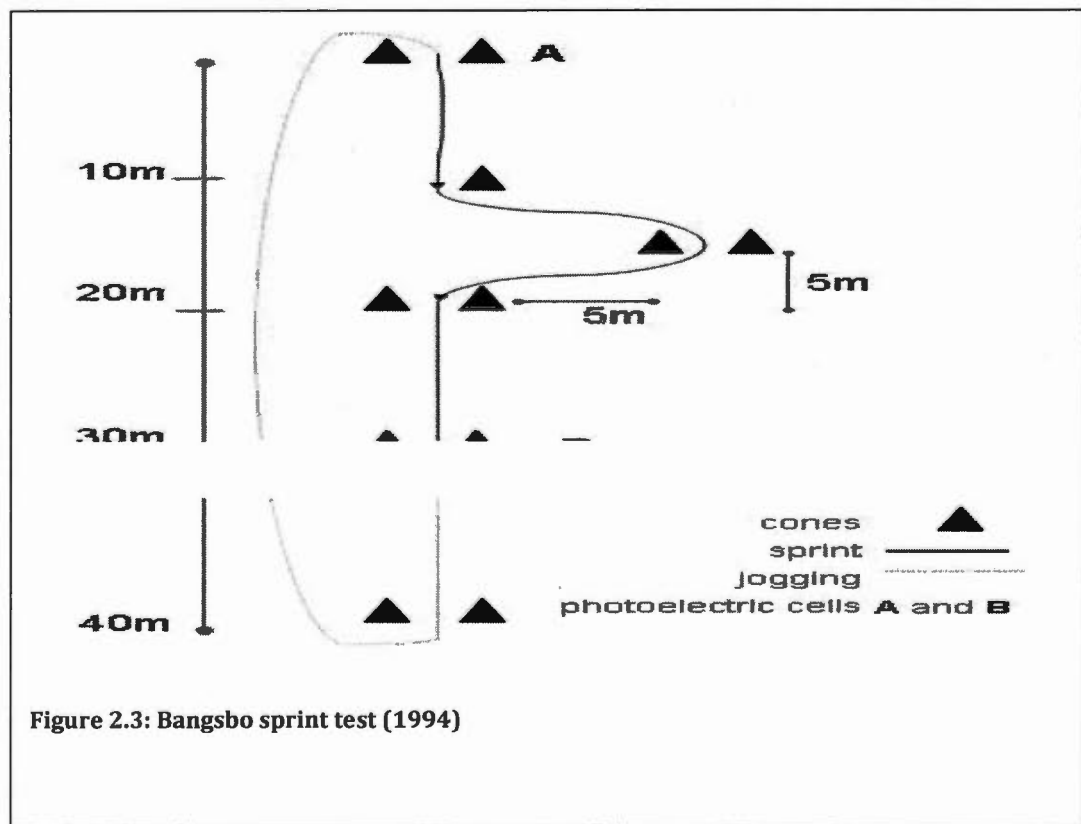


2.3. Test de Bangsbo avec changement de direction :

C'est un test (Figure 2.3), qui consiste à effectuer 7 sprints de 34.2m avec 25 secondes de récupérations actives sur 40 m sous forme de courses légères pour revenir au point de départ. (Un signal verbal est donné chaque 5 secondes).

Chaque sprint est effectué avec un changement de direction (Bangsbo et coll., 1994) lors de ce test des cellules photoélectriques sont utilisées pour mesurer la performance des joueurs.

Spécifiquement adapté pour les joueurs de soccer, ce protocole a été modifié par la suite par Wragg et coll. (2000) en 6 répétitions, 3 à droite et 3 à gauche.



2.4. Test de sprint navette (Rampinini et coll., 2007):

Réalisé sur un groupe de 22 joueurs de soccer professionnels il consiste à faire

6#20m+20 m avec 20 secondes de récupérations passives.

Départ de la ligne A la ligne B tout en réalisant un changement de réaction de 180 degrés pour revenir à la ligna A (Figure 2.4).

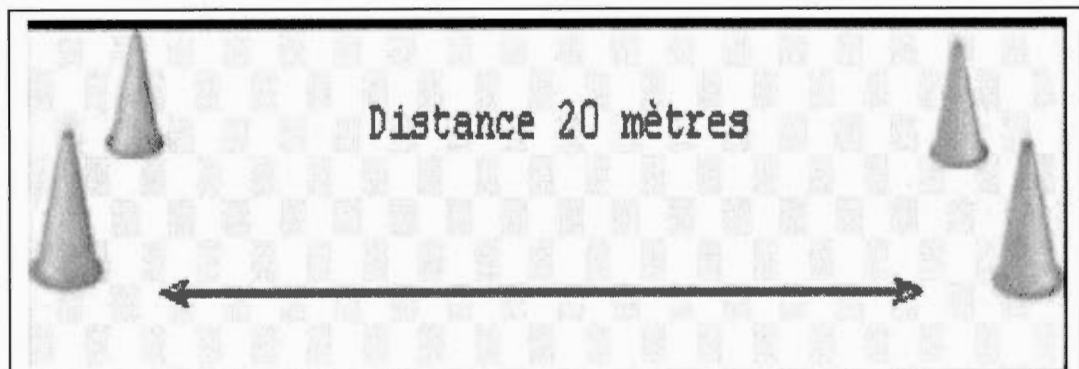
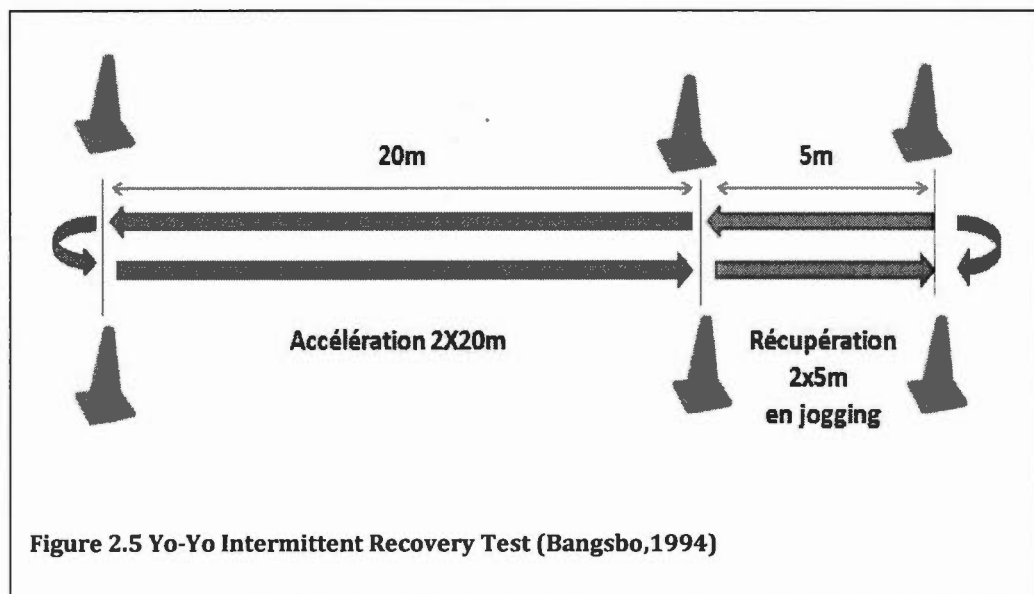


Figure 2.4 Test de sprint navette (Rampinini et coll., 2007)

2.5. Yo-Yo Intermittent Recovery Test (Bangsbo, 1994):

Ce test élaboré par Bangsbo,(1994) se nomme « Yo-Yo Intermittent Recovery Test » ou « Yo-Yo IR1 ». Le test consiste à réaliser le plus grand nombre d'allers et de retour entre deux lignes distantes de 20m. Le rythme de la course est progressif et il est signalé avec un bip sonore. Le participant doit être au niveau de la ligne à chaque bip sonore. Le test prend fin pour le participant dans le cas où le participant ne peut plus suivre le rythme soit suite à son jugement personnel soit en accusant 2 retards consécutifs par rapport aux bips. Après chaque aller-retour le participant doit effectuer une période de récupération :

Les 2x5m de récupération en footing sont à faire en 10"(Figure 2.5)



2.6. Test Illinois (Getchell, 1979):

Le test Illinois est un test qui a été présenté par Getchell (1979) pour mesurer la capacité de changer de position et de direction. Il consiste à placer 4 cônes sur une surface de 10 m de longueur sur 5 m de largeur, un cône le départ et un cône pour l'arrivée. Les deux autres cônes seront placés pour marquer les points de retour. Quatre autres cônes sont placés au centre de la zone de test et sont séparés par 3.3 mètres. Le participant doit commencer le test en position de coucher ventral avec les mains au niveau des épaules, au signal le participant doit se lever le plus rapidement possible et effectue le circuit dans le sens indiqué dans le schéma suivant (Figure 2.6)

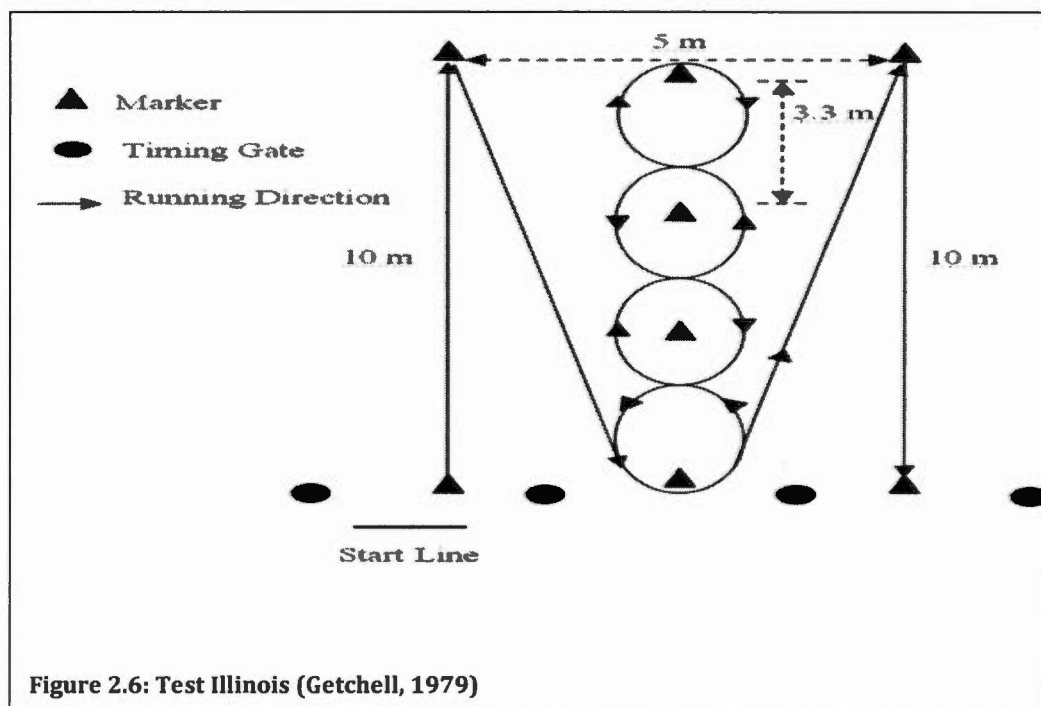


Figure 2.6: Test Illinois (Getchell, 1979)

3. RELATION ENTRE SPRINT RÉPÉTÉ ET SPRINTS RÉPÉTÉS AVEC CHANGEMENT DE DIRECTION

Les entraîneurs et préparateurs physiques croient qu'il y a une forte relation entre la vitesse de sprint en ligne droite et la vitesse de changement de direction. Cependant, les résultats disponibles dans la littérature réfutent cette hypothèse.

Par exemple Draper et Lancaster (1985) ont montré que la vitesse de course mesurer à l'aide du test Illinois (course avec changements de direction) n'est pas corrélé avec la vitesse sur un sprint en ligne droite (sans changement de direction) de 20 m.

Dans le même sens, les résultats de l'étude de Baker (1999) ont montré que les performances au sprint en ligne de deux groupes de joueurs de rugby de niveaux différents sont similaires alors que leurs performances au sprint avec changements de direction sont significativement différentes.

Les relations entre les sprints et les sprints avec changements de direction chez des joueurs de football australien ont également été étudiées par Young et coll. (2014). Dans cette étude, les chercheurs ont comparé le sprint en ligne droite, le sprint avec trois changements de direction prévus avec un angle de 90° tout en rebondissant un ballon de soccer, et le sprint avec trois changements de direction avec des angles de 120°. Les résultats confirment l'hypothèse des chercheurs, que les corrélations entre sprints et les tests d'agilité étaient tous très faible, ce qui indique que le sprint, le sprint tout en faisant rebondir un ballon et le sprint avec changements de direction sont des qualités distinctes et spécifiques.

De même, des corrélations faibles ($r = 0,33$) ont été rapportées chez des joueurs de soccer (Buttifant et coll., 1995) lorsque l'on compare les performances du test des sprints avec changement de direction (CODS) et les performances du test de sprint en ligne droite. Young et coll. (2001) démontre également que l'entraînement de sprint en ligne droite n'améliore pas les performances dans les sprints avec changements de

direction. Dans cette étude, aucune amélioration significative n'a été signalée dans la performance de CODS après une période d'entraînement en sprint.

Si le sprint et sprint avec des changements de direction était étroitement liés et si la vitesse avait une relation de cause à effet avec la vitesse avec changement de direction, l'intervention de l'entraînement de sprint utilisé par Young et coll. (2001) aurait non seulement améliorer la vitesse de pointe (comme on l'a signalé) mais aussi la vitesse de changement de direction.

Sur la base des résultats présentés, les tests des sprints en ligne droite ne semblent pas être liés aux sprints avec des changements de direction (Baker, 1999 ; Buttifant et coll., 1999 ; Draper et Lancaster, 1985 et Young et coll., 1996).

4. SPRINTS RÉPÉTÉS AVEC CHANGEMENT DE DIRECTION ET SOCCER :

Le soccer, comme d'autres sports d'équipe, est considéré comme une activité intermittente comportant une variation soudaine de direction et d'intensité (action fréquente de sauts, de sprints, et de changement de direction).Auparavant il était très difficile d'étudier la nature du RSA à cause de l'imprévisibilité des déplacements des joueurs au cours d'un match de soccer. Cependant, le progrès technologique a permis une analyse de plus en plus détaillée des mouvements même les plus intenses et les plus imprévisibles, ce qui a permis aux chercheurs de mettre en place des modèles détaillés des mouvements (Spencer et coll., 2005).

Une étude menée par Cazorla et coll. (1998) sur l'équipe de France de soccer, a rapporté une moyenne de 54 ± 12 changements de direction par joueur.

L'étude de Bloomfield et coll.(2007) quand a elle a réussi à enregistrer la nature et l'intensité des déplacements des joueurs en temps réel et en pourcentage et à

distinguer les différences des déplacements et des changements de direction entre les attaquants, les défenseurs ou même les joueurs du milieu. Ils ont observé 727 rotations et changements de direction lors d'un match de soccer : une moyenne de 822 rotation et changements de direction pour un défenseur, 608 pour un milieu et 748 pour un attaquant. Les mêmes auteurs ont aussi rapportés que le type du changement de direction varie selon le poste: un défenseur réalise en moyenne 700 rotations entre 0 et 90° alors qu'un milieu en effectue 500 et un attaquant 600.

Une autre étude de Moher et coll. (2003) ; où la collecte de données a été réalisée durant des matches de soccer professionnel ; a rapporté un nombre de sprints variant entre 19 et 62 avec une durée de 2 à 3 secondes chacun et sur une distance totale de 670 m à 975 m. Malgré que les sprints représentent un pourcentage de 0.5 à 3 % du temps effectif lors d'un match Moher et coll. (2004) et que 10% de la distance totale (Cazorla et Farhi, 1998; Hoff et Helgerud, 2004; Bloomfield et coll., 2007) il reste d'une grande importance dans la performance au soccer (Wragg et coll., 2000).

Toutefois, il faut noter que le nombre de sprints répétés avec ou sans changement de direction varie considérablement d'un auteur à l'autre, on peut voir cette divergence dans le tableau suivant (Tableau 2.5):

Auteur	Participants (n)	Poste	Durée de sprint (sec)	Distance de sprint (m)	Fréquence de sprint	Temps de récupération (sec)	Changements de direction (sec)
Bangsbo et al 1991	14EM	Tous les joueurs	2.0	NR	19		7
	4EM	Défenseurs					
	7EM	Milieux	2.0		16		
	3EM	Attaquant	2.1 1.7		17 24		
Barross et al 1999	25EM	Tous les joueurs		13	55	98	
Drust et al 1998	23EM	Tous les joueurs					4.0
Mayhew et wenger 1985		Tous les joueurs	4.4B		519B	40B	6.1
Mohr et al 2003	18EM	Tous les joueurs	2.0		39	138	
	24EM		2.0		26	208	
Reiley et Thomas	40EM	Tous les joueurs		15.7	62	90	6.4
		Milieu					
	11EM	Arrière		15.6	68	79	6.0
	8EM	Avant		15.1	52	104	6.3
	14EM	Arrière central		16.4	65	83	6.7
	7EM			14.1	59	92	6.7

withers et al (1982)	10EM	Tous les joueurs	3.0		35	154	7.3
	39EM		4.5		44	123	
	12 EM et F	Tous les joueurs		10.1	29		
	20EM	Tous les joueurs	3.7	22.4B	30 (97b)	-18(97b)	
		Arrières					
	5EM	Arrières centraux	3.7	24.3B	-38(110b)	49 b	
	5EM	Milieux	3.6	20.8B	19	68 b	
		Attaquants					
	5EM		3.8	22.6B	-29(110b)	49 b	
	5EM		3.5	21.2B	-32(88b)	61 h	

Tableau 2.5 Analyse du temps de mouvements du sprint en soccer (Spencer et coll. ,2005)

A= catégorie de mouvement standard (marche –course lente –sprint)

B=étude ayant combiné sprint et courses intenses en une catégorie

E=élite F =féminin M=masculin NR=Non rapporté

5. SOCCER ET VO₂ MAX:

La consommation maximale d'oxygène (VO₂ max) est présentée comme étant la quantité maximale d'oxygène que l'organisme peut prélever, transporter, et consommer par unité de temps. Elle est obtenue lorsqu'une personne ne peut plus augmenter sa consommation d'O₂ malgré l'intensité croissante de l'exercice. Cette valeur est souvent exprimée en litre d'oxygène par minute et est le plus souvent rapportée par unité de masse corporelle, ce qui donne un résultat en ml/min/kg.

Une étude de Bricki et Dekkar (1987) a reporté que les athlètes de demi-fond et de fond présentent les plus grandes valeurs de VO₂ max qui se situent entre 65 et 95 ml/min/kg chez les joueurs de soccer cette valeur se situe entre 50,74 à 77,55 ml/min/kg

Dans la littérature scientifique, une augmentation du V02 max est un excellent indicateur des bienfaits de l'entraînement sur le fonctionnement de la fonction cardiaque (Bassett et Howley, 2000). En effet, les valeurs élevées de VO₂ max ont été positivement associées à la performance des équipes dans une même ligue (Apor, 1988).

Plusieurs études signalent qu'avec l'entraînement en aérobie, il y a augmentation du V02 max. Sporis et coll. (2008) ont observé que des joueurs U-19 d'élite ont amélioré leur VO₂ max de 5,3% après 13 semaines d'entraînement aérobie à haute intensité (6 semaines de présaison et 7 semaines en saison à raison de 3 fois par semaine) (Marcello et coll., 2009)

Dans une étude précédente Helgerud et coll. (2001) ont comparé deux groupes joueurs de soccer juniors masculins. Le premier groupe a suivi des entraînements par intervalles, 4 fois 4 min à 90-95% de la fréquence cardiaque maximale, avec un jogging de 3 minutes entre les deux, deux fois par semaine pendant 8 semaines, le second groupe continuait de faire des entraînements en technique de soccer. Le

premier groupe a eu une amélioration du VO_2max de 58.1 à 64.3 ml.kg-min, tandis que le second groupe n'a vu aucun changement.

En général, différentes études ont montré des améliorations du $\text{VO}_2\text{ max}$ après une période de temps relativement court (pré-saison), alors qu'aucune augmentation n'a été observée au cours de la saison. En d'autres termes, quand les joueurs de soccer possèdent un $\text{VO}_2\text{ max}$ supérieur à 61-62 ml.kg-1.min. au début de la saison de compétition, aucune amélioration du $\text{VO}_2\text{ max}$ n'a été rapportée au cours de la saison (Clark et coll., 2008; Edwards et coll., 2003).

Le Tableau 2.6 présente un récapitulatif des études qui ont observé les valeurs de $\text{VO}_2\text{ max}$ avec différent niveau et différent âge et position de jeu.

Study	Level/country	n	Position	Anthropometry ^a		VO _{2max} ^{a,b}		AT	
				height (cm)	weight (kg)	L/min	mL/kg/min	mL/kg ^{0.75} /min	(% VO _{2max}) ^b
Adhikari and Kumar Das ^[61]	National/India	2	G	180.1 ± 1.8	84.0 ± 3.0	3.60	58.3 ± 1.3	159.2	
Al-Hazzaa et al. ^[62]	Elite/Saudia Arabia	4	D	172.4 ± 2.9	65.1 ± 1.3	3.93	60.3 ± 5.0	171.3	
		5	M	173.2 ± 5.5	67.8 ± 5.4	3.91	57.7 ± 4.9	165.6	
		7	A	169.3 ± 2.3	60.1 ± 2.3	3.65	60.7 ± 4.9	169.0	
			CB	182.3 ± 6.1	92.1 ± 6.9	4.28 ± 0.66	52.3 ± 7.3	157.3 ± 21.8	
			FB	176.0 ± 3.9	72.4 ± 4.1	4.16 ± 0.19	57.7 ± 5.1	168.0 ± 12.8	
			M	174.7 ± 6.7	68.2 ± 4.4	4.13 ± 0.26	59.9 ± 0.93	172.2 ± 1.7	
Apoll ^[63]	Division 1-1st/Hungary		A	177.4 ± 5.8	72.7 ± 5.9	4.11 ± 0.29	56.9 ± 2.5	165.8 ± 5.4	
		2nd					66.6		
		3rd					64.3		
		5th					63.3		
Arneson et al. ^[67]	National/Hungary	8			68.6 ± 8.7	5.07	73.9 ± 10.8	212.7	
		8 ^c					63.2 ± 0.4		
		7 ^c					61.9 ± 0.7		
		15	G				57.3 ± 4.7		
		87	D				62.8 ± 4.4		
		76	M				63.0 ± 4.3		
Aziz et al. ^[64] Bangsbo ^[65]	National/Singapore Elite/Denmark	47	A	175.0 ± 6.0	65.6 ± 6.1	3.82 ± 0.42	58.2 ± 3.7	165.7	
		23		180.0 ± 6.0	87.8 ± 8.0	4.48	51.0 ± 2.0	156.1	
		5	G	189.0 ± 4.0	87.5 ± 2.5	4.90	56.0 ± 3.5	171.3	
		13	CB	179.0 ± 6.0	72.1 ± 10.0	4.43	61.5 ± 10.0	179.2	
		12	FB	177.0 ± 6.0	74.0 ± 8.0	4.63	62.6 ± 4.0	183.6	
		21	M	178.0 ± 7.0	73.9 ± 3.1	4.43	60.0 ± 3.7	175.9	
Bunc and Psotta ^[66]	Elite/Czech	14	A	182.7 ± 5.5	78.7 ± 6.2	4.80 ± 0.41	61.0 ± 5.2	181.7	80.5 ± 2.5
		15		132.4 ± 4.3	28.2 ± 3.2	1.60 ± 0.14	56.7 ± 4.9	130.7	76.5 ± 1.3
		22	8 years/Czech	182.6 ± 5.5	78.7 ± 6.2	4.87	61.9 ± 4.1	184.4	80.5
		15	Elite/Czech	180.0 ± 8.0	78.5 ± 6.45	5.10 ± 0.40	65.5 ± 8.0	193.4	76.6
Bunc et al. ^[67]	Division 1/Spain	15		180.0 ± 8.0	78.5 ± 6.45	5.20 ± 0.76	66.4 ± 7.6	197.2	79.4
Casajus ^[68]	Division 1/Spain	15		177.8 ± 6.7	70.5 ± 6.4	4.30 ± 0.40	61.1 ± 4.6	177.0 ± 13.0	90.1 ± 3.9
Chaman et al. ^[69]	U-19 elite Tunisia-Senegal	34							
Chin et al. ^[69]	Elite/Hong Kong	24		173.4 ± 4.6	67.7 ± 5.0	4.00	59.1 ± 4.9	169.5	80.0

Table V. Cont'd

Study	Level/country	n	Position	Anthropometry ^a height (cm)	weight (kg)	$\dot{V}O_{2max}^{a,b}$ l/min	$\dot{V}O_{2max}^{a,b}$ ml/kg/min	AT (% $\dot{V}O_{2max}^{a,b}$)
Druet et al. ^[16]	University/England	7		178.0 ± 5.0	72.2 ± 5.0	4.17	57.8 ± 4.0	165.5
Ekblom ^[2]	Top team/Sweden							
Faina et al. ^[60]	Amateur/Italy	17		178.5 ± 5.9	72.1 ± 8.0	4.62	64.1 ± 7.2	183.8
	Professional/Italy	27		177.2 ± 4.5	74.4 ± 5.8	4.38	58.9 ± 6.1	173.0
	world class/Italy	1					63.2	
Heigerud et al. ^[10]	Juniors/Norway	9				4.25 ± 1.9	58.1 ± 4.5	189.9 ± 9.6
	After training period	9				4.59 ± 1.4	64.3 ± 3.9	185.3 ± 10.8
	Division 1/Norway	21		183.9 ± 5.4	78.4 ± 7.4	4.73 ± 0.48	60.5 ± 4.8	175.4 ± 14.8
	After training period	21		183.9 ± 5.4	78.4 ± 7.4	5.21 ± 0.52	65.7 ± 5.22	182.9 ± 19.4
Heller et al. ^[71]	League/Czech	12		183.0 ± 3.5	75.6 ± 3.4	4.54	60.1 ± 2.8	177.2
	After season	12				4.48	59.3 ± 3.1	174.9
Hoff et al. ^[72]	Division 2/Norway ^c	8				4.63 ± 0.51	60.3 ± 3.3	175.8 ± 13.3
Holmann et al. ^[68]	Nationale-78/Germany	17					82.0 ± 4.5	
Impellizzeri et al. ^[73]	Young/Italy	19		178.5 ± 4.8	70.2 ± 4.7	4.03	57.4 ± 4.0	165.2
Leatt et al. ^[74]	U-16 elite/Canada	8		171.1 ± 4.3	62.7 ± 2.8	3.68 ± 0.43	59.0 ± 3.2	165.2
	U-18 elite	9		175.8 ± 4.4	69.1 ± 3.4	3.99 ± 0.59	57.7 ± 6.8	164.5
MacMillan et al. ^[75]	Youth team/Scotland	11		177.0 ± 6.4	70.8 ± 3.1	4.45 ± 0.37	63.4 ± 5.6	183.3 ± 13.2
	After training period	11			70.2 ± 8.2	4.87 ± 0.45	68.8 ± 6.6	201.5 ± 16.2
Markovic et al. ^[76]	Division 1/Croatia	44		179.1 ± 5.9	77.5 ± 7.19	4.12 ± 0.64	52.1 ± 10.7	157.7
Nowacki et al. ^[77]	Division 3/Germany	10					89.2 ± 7.8	
Puga et al. ^[78]	Division 1/Portugal	2	G	186.0	84.4	4.45	52.7	159.7
		3	CB	185.3	75.9	4.18	54.6	161.7
		2	FB	175.0	67.5	4.19	62.1	178.0
		8	M	176.8	74.0	4.58	61.9	181.6
		6	A	174.6	71.1	4.31	60.6	178.0
Rahkila and Luthanen ^[79]	Senior/Finland	31		180.4 ± 4.3	76.0 ± 7.6	4.20 ± 0.30	56.0 ± 3.0	163.2
	U-18 plus U-17/Finland	25		178.6 ± 6.3	71.3 ± 9.8	4.00 ± 0.50	56.0 ± 4.0	163.0
	U-16/Finland	21		177.1 ± 7.4	66.7 ± 6.8	3.80 ± 0.40	56.0 ± 5.0	162.8
	U-15/Finland	29		174.7 ± 5.1	62.5 ± 6.5	3.60 ± 0.40	57.0 ± 5.0	162.0
Rhodes et al. ^[80]	Olympic/Canada	16		177.3 ± 6.5	72.8 ± 8.2	4.20 ± 0.40	58.7 ± 4.1	168.9
Sreyer et al. ^[81]	Esp/Danish	9		154.1 ± 8.2	42.5 ± 7.2	2.47 ± 0.28	58.6 ± 5.0	148.2
	Esp/Danish	7		172.2 ± 6.1	57.5 ± 7.2	3.59 ± 0.44	63.7 ± 8.5	172.1
Vanderford et al. ^[82]	U-14/US	20		163.9 ± 0.4	49.9 ± 0.4	2.64	52.9 ± 1.2	140.6

Continued next page

Table V. Cont'd

Study	Level/country	n	Position	Anthropometry ^a		VO _{2max} ^b		AT	
				height (cm)	weight (kg)	l/min	ml/kg/min	ml/kg ^{0.75} /min	% VO _{2max} ^b
	U-15/US	19		176.1 ± 0.3	62.8 ± 0.3	3.42	54.5 ± 1.3	153.3	63.5 ± 2.5
	U-16/US	20		177.1 ± 0.3	68.6 ± 0.4	3.86	56.2 ± 1.5	161.9	61.2 ± 1.3
Vanraechem and Thomas ^[31]	Division 1/Belgium	18		181.0 ± 3.9	76.7 ± 6.4	4.30 ± 0.52	56.5 ± 7.0	165.9	90.3
Verstappen and Boven ^[32]	Division 1/Holland	15			72.0 ± 3.7	4.90 ± 0.50	68.0 ± 5.0	198.2	
		15			77.7 ± 4.8	4.80 ± 0.60	63.0 ± 7.0	187.2	
Wisloff et al. ^[37]	Division 1/Norway (first)	14		181.1 ± 4.8	76.9 ± 6.3	5.20 ± 0.40	67.6 ± 4.0	200.2 ± 8.4	
	Division 1/Norway (last)	15		180.8 ± 4.9	76.8 ± 7.4	4.60 ± 0.50	59.9 ± 4.2	177.1 ± 13.5	

a Data presented without standard deviation are calculated from the average bodyweight measured in the respective studies.

b VO_{2max} and AT presented are from valid and reliable tests, not estimations.

c Number of teams.

d Including elite juniors.

A = attacker; AT = anaerobic threshold; CB = central-back; Czech = Czech Republic; D = defender; EbP = elite players beginning of puberty; EaP = elite players end of puberty; FB = full-back; G = goalkeeper; M = midfielder player; U = under; VO_{2max} = maximal oxygen uptake.

Tableau 2. 6 Profils physiologiques des joueurs de soccer masculins / Physiological profile of male soccer players (±SD) (Stolen T et coll., 2005)

Le Tableau 2.7 présente quant à lui les valeurs de VO_2 max qui ont été observées par différents auteurs à des niveaux de pratique différente.

Auteurs	Niveau de pratique	VO_2 max (ml/kg/min)
Withers et al (1977)	Internationaux australiens	62,0
Ekblom (1986)	Internationaux	61,0
Bangsbo et Mizuno (1988)	Professionnels danois	66,2
Chatard et al (1991)	Équipe nationale africaine	55 / 56
Cazorla (1991)	Professionnels français	61,1
Puga et al (1993)	Professionnels portugais	59,6
Tiryaki et al (1997)	Professionnels turcs	51,6
Drust et al (2000)	Internationaux universitaires	58,9
Helgerud et al (2001)	Internationaux espoirs norvégiens	58,1 / 64,3
Wisloff et al (2004)	Professionnels norvégiens	65,7
Santos-Silva et al (2007)	Professionnels brésiliens	54,5-55,2
Casajus et Castagna (2007)	Professionnels espagnols	54,9
Tableau 2.7 Le VO_2 max des footballeurs de haut-niveau (Dellal., 2008)		

CHAPITRE III:

MÉTHODOLOGIE

La présente étude s'est déroulée au parc Louisbourg à Cartierville, île de Montréal, durant les deux premières semaines du mois d'octobre 2016.

Tous les participants à notre étude étaient informés des buts, des bénéfices et des risques de l'étude. Une signature du consentement de participation a été exigée.

Toute notre étude a été organisée dans le respect des règles du comité d'éthique de l'UQAM. L'approbation du comité d'éthique de l'UQAM a été obtenue (certificat numéro : 1319).

1. LES PARTICIPANTS :

Dix joueurs (n=10) de soccer senior masculin AAA faisant partie de «La fédération sportive de Salaberry» ont été recrutés pour prendre part à la présente étude. Pour cela, une lettre a été envoyée au responsable de l'équipe pour demander sa permission pour commencer notre étude.

Nous avons programmé une visite sur le terrain pour rencontrer les joueurs. Ils ont été informés que leur participation est volontaire et qu'ils sont libres de se retirer de l'étude à tout moment sans pénalité.

Tous les participants ont été informés du protocole expérimental et ont signé un consentement de participation.

2. CRITÈRES D'INCLUSION :

Tous nos participants sont des joueurs de soccer de sexe masculin âgé de 18 ans et plus et qui n'ont jamais subi des blessures graves au niveau des membres inférieurs (la rupture des ligaments croisés, rupture du tendon d'Achille ou des déchirures musculaires à répétitions...)

3. CRITÈRES D'EXCLUSION :

Lors de notre étude, nous avons exclu tous les joueurs âgés de moins de 18 ans, et ceux qui ont subi une blessure grave dans la passée (la rupture des ligaments ou des déchirures musculaires à répétition ou autres types de blessure musculo-squelettique ne permettant pas des changements de direction brusque). Nous avons aussi exclu les joueurs qui selon le « Q-AAP » répondaient positivement à une des sept questions.

4. CONDITIONS (VARIABLES INDÉPENDANTES) :

Avant l'expérimentation, les participants se sont familiarisés avec les procédures d'essai et ont effectué un échauffement : 5min de course de faible intensité (jogging), suivi par des sprints progressifs sur (~ 25m).

Tous les tests ont été effectués sur un terrain de gazon artificiel avec une température ambiante entre 10 - 15°C.

Les athlètes ont été évalués au cours de la saison de compétition régulière et ont été invités à s'abstenir de toutes autres activités de hautes intensités lors de la période de la collecte des données.

On a proposé 3 différents types de sprints répétés : linéaires, Quadrangulaires, et en forme de M (sur 40M/20 SEC récupération) séparés l'un de l'autre de 10 min. L'ordre de passage été comme suit : 4 joueurs ont commencé avec le type linéaire, 3 autres ont commencé avec le type quadrangulaire, et 3 autres ont commencé avec le type en forme de M.

5. PROCÉDURE :

5.1 DÉROULEMENT EXPÉRIMENTAL :

Le jour du test, les participants ont été invités à se présenter à 18h.

Ils ont commencé par un échauffement : 5 min de course de faible intensité (jogging), suivi par des sprints progressifs sur (~ 25m).

L'ordre de passage été comme suit : 4 joueurs ont commencé avec le type linéaire, 3 autres ont commencé avec le type quadrangulaire, et 3 autres ont commencé avec le type en forme de M.

Le joueur a été invité à commencer par un départ semi-debout sur la ligne de départ. Sur la ligne d'arrivée, une évaluation sur l'échelle de Borg a été effectuée, le participant a poursuivi sa récupération (20 secondes de récupération) pour entamer la deuxième répétition, et ainsi de suite. Après la 4ième répétition, le joueur procéda à une récupération complète (10 minutes de récupérations), nous avons alors procédé au deuxième test soit 4sprints avec changement de direction sous forme de carré avec 3 angles de 90 degrés, le protocole qui a été mis en place lors du premier test a été reproduit lors de ce deuxième test et aussi lors du troisième test qui a été 4 sprints avec changement de direction sous forme de M avec 2 angles de 45 degrés intercalés par un angle de 90 degrés. Une dernière évaluation sur l'échelle de Borg a été effectuée à la fin des 3 tests.

5.2 MATÉRIEL ET MISE EN PLACE :

Nous avons limité le terrain avec des cônes, nous avons fait le traçage, ligne de départ et ligne d'arrivée, et surtout le circuit à suivre pour que la distance totale ne dépasse pas les 40 m.

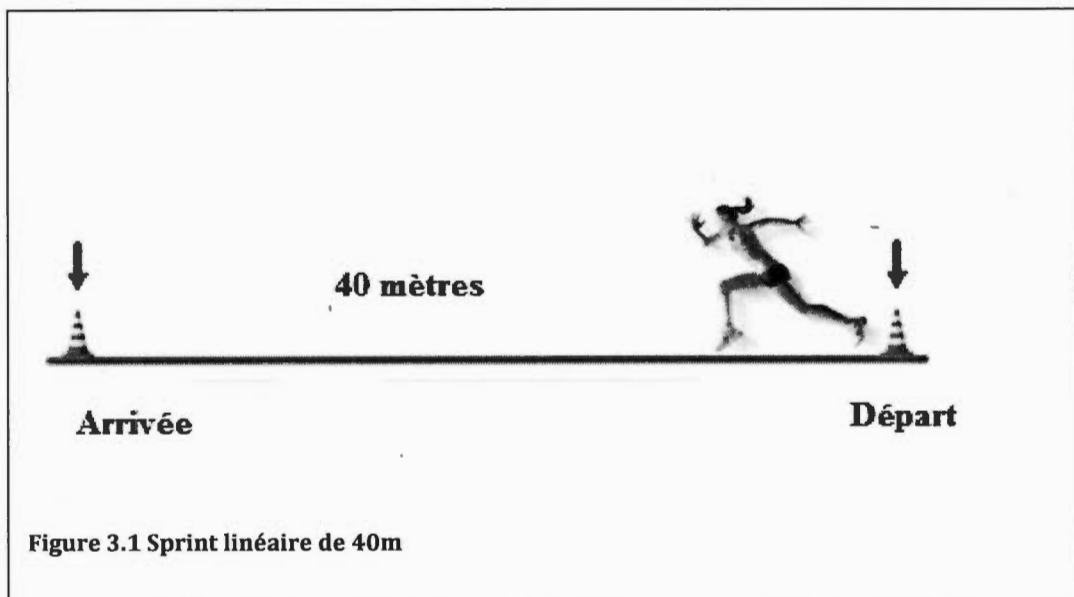
Nous avons équipé le joueur avec l'analyseur métabolique portable (K4b², Cosmed, It).

6. LE SCHÉMA EXPÉRIMENTAL :

Le test est composé trois types de sprints répétés, linéaires, quadrangulaires, et en forme de M (sur 40M/20 secondes de récupération) séparés l'un de l'autre de 10min.

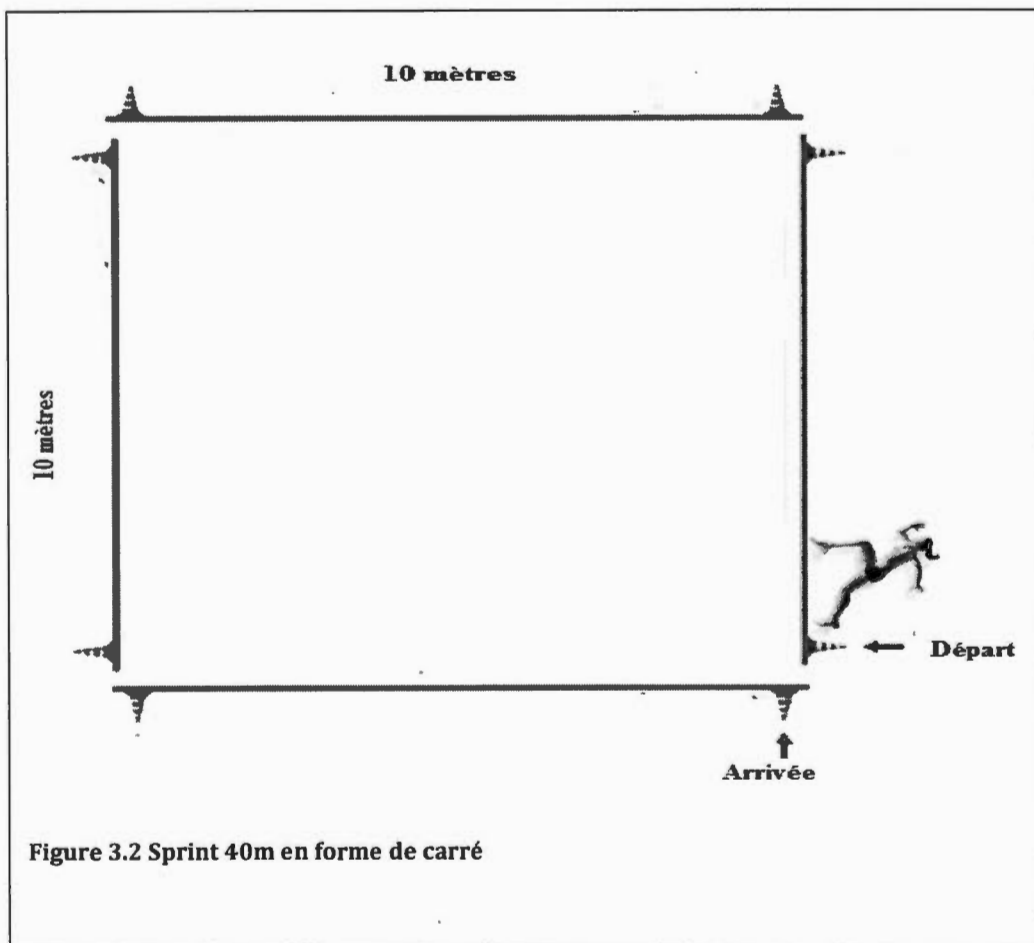
6.1 SITUATION NO 1 : SPRINT LINÉAIRE (FIGURE 3.1)

C'est un sprint linéaire sur une distance de 40m sans aucun changement de direction.



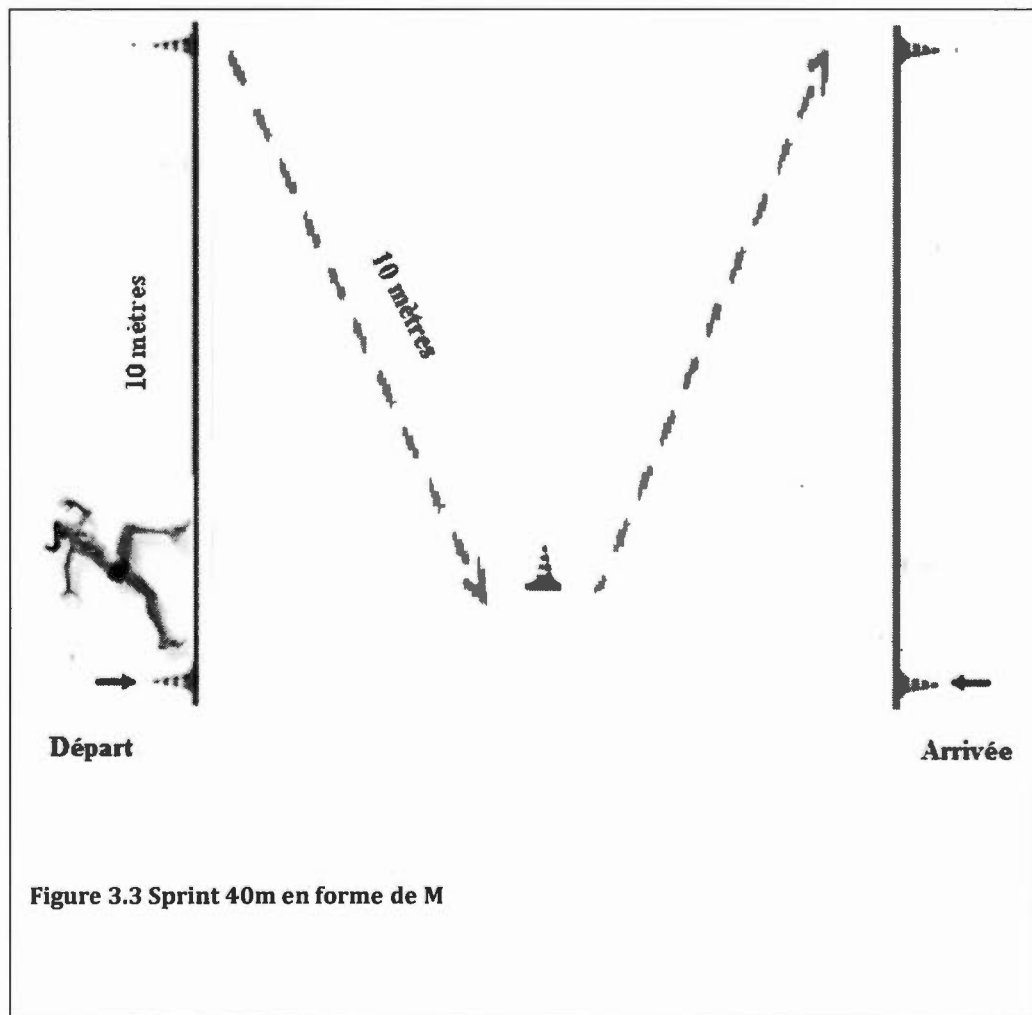
6.2 SITUATION NO 2 : SPRINT QUADRANGULAIRE (FIGURE 3.2)

C'est un sprint avec changement de direction sur une distance de 40 m sous forme de carré ($4 \times 10\text{m}$) qui comprend 3 changements de direction de 90 degrés.



6.3 SITUATION NO 3 : SPRINT EN M (FIGURE 3.3):

C'est un sprint avec changement de direction avec un schéma sous forme de M qui comprend une combinaison de 2 angles de 45 degrés intercalés d'un angle de 90 degrés.



7. MESURES (VARIABLES DÉPENDANTES) :

7.1 PERCEPTION DE L'EFFORT :

L'échelle de Borg ou la mesure de perception de l'effort qui a vu le jour En 1961, est une mesure quantitative de la perception de l'effort durant un exercice physique : «elle permet un retour sur la sensation subjective engendrée par l'application d'un exercice » (Borg ,1998)

Borg (1998) a révélé le fait que les valeurs de RPE puissent être utilisées pour comparer des mesures physiologiques telles que la FC ou le VO_2 ; il a aussi été démontré que la perception de l'effort est corrélée à de nombreux paramètres physiologiques : fréquence cardiaque, accumulation de lactate sanguin (Borg ,1998).

De même, les résultats de perception d'effort que nous allons obtenir vont nous permettre de vérifier si différence significative existe, entre les schémas de courses (inter-groupe) ou aussi par rapport au numéro de sprint pour chaque schéma de courses (intra groupe).

Il existe un grand nombre de modifications et d'adaptations de l'échelle de Borg, cependant au cours de notre étude, nous avons utilisé la modification apportée par Foster et al (2001)

Au cours de notre étude, nous avons demandé au participant d'évaluer subjectivement l'effort fourni à la fin de chaque passage et à la fin de 3 schémas de course.

La question suivante a été posée aux joueurs:

Quelle est votre perception de l'effort par rapport au schéma de course que vous venez de faire sur une échelle de 1 à 10 ?

10	maximale
9	
8	
7	Très difficile
6	
5	Difficile
4	Assez difficile
3	Modéré
2	Facile
1	Très, très facile
0	Repos

Figure 3.4 Échelle modifiée de Borg (Foster et coll., 2001)

7.2 CONSOMMATION D'OXYGÈNE MESURÉE AVEC UN ANALYSEUR MÉTABOLIQUE PORTABLE:

Cet appareil (analyseur métabolique portable : K4b²) mesure en temps réel différents paramètres physiologiques de la respiration des participants, incluant la consommation d'oxygène (VO_2) ainsi que l'évolution des fréquences cardiaques (FC). Toutefois, les mesures de FC n'ont pas été effectuées, car la collecte de données c'est effectuée à l'extérieur et il était encombrant de placer le capteur au niveau de la

poitrine des participants. La calibration de l'appareil s'est faite selon les directives du fabricant avant chaque épreuve. L'appareil mesure 170 x 55 x 100 millimètres et pèse environ 550 grammes alors que la batterie a une dimension de 170 x 48 x 90 millimètres pour un poids de 550 grammes (McLaughlin et coll., 2001). L'aspect miniature de l'appareil réduit la gêne qui pourrait être engendrée par du matériel lourd et encombrant ce qui permet de ne pas nuire à la performance des participants lors d'une course (harnais très près du corps, aucun balancement, lorsque bien ajusté).

La validité et fidélité de l'analyseur métabolique portable (K4b²) a été vérifiée à maintes reprises par plusieurs auteurs (McLaughlin et coll., 2001; Brian et coll 2001; Duffield et coll, 2004). De plus, Yunsuk Koh et Jung (2007), indique que le K4b² permet d'obtenir une mesure précise du VO₂ quelle que soit l'intensité de l'exercice.

Le temps de réponse des analyseurs d'O₂ et de CO₂ (<150 ms avec un écart de 7-24% O₂ et de 0-8% CO₂ à une précision de $\pm 0.02\%$ et de $\pm 0.01\%$, respectivement) est suffisamment rapide afin de permettre une mesure de la consommation d'oxygène par respiration par respiration (Manuel d'utilisateur, Cosmed, It). Le débit ventilatoire (V_E) est mesuré à l'aide d'une turbine numérique (200 Hz) bidirectionnelle de diamètre de 28 mm (écart de 0,03-20 L/sec à une précision $\pm 2\%$) permettant durant l'effort physique un écart de mesure de 0-300 L/min (Manuel d'utilisateur, Cosmed, It).

Hervee Assadi (2012), a indiqué que la calibration de l'appareil s'effectue en 4 étapes qui doivent se dérouler dans l'ordre suivant :

- 1- La calibration de la turbine qui mesure le volume d'air expiré à la bouche (V_E, L/min) s'effectue à l'aide d'une seringue ayant un volume de 3 litres (SensorMedics Corp., Yorba Linda, CA).
- 2- Une calibration des gaz a été effectuée à l'aide d'une bouteille de gaz étalon (15% d'O₂ et 5% de CO₂) pour calibrer les analyseurs d'O₂ et de CO₂.

Cette calibration fut effectuée avant les épreuves de course pour chaque participant en suivant les directives indiquées par le fabricant.

- 3- Une calibration du délai a été effectuée afin de calibrer le temps que met le flux d'air pour atteindre les analyseurs d'O₂ et de CO₂ en parcourant le trajet qui relie les analyseurs au masque par l'intermédiaire du tube d'échantillonnage (Permapure, Cosmed, It).
- 4- Une calibration de l'analyseur métabolique utilisant l'air ambiant. a été réalisée au départ de chaque test.

Suite à la collecte de données, le VO₂ pour chacun des schémas de course a été calculé en mesurant l'aire sous la courbe à partir du début du premier sprint (sprint 1) jusqu'à la fin du dernier sprint (sprint 4). Le VO₂ durant la récupération n'a pas été mesuré, car les participants retiraient le masque immédiatement à la fin du 4^e sprint. Le calcul de la consommation d'oxygène est illustré à la figure 3.5. La surface délimitée par le tracé de la courbe et entre les deux lignes verticales a été utilisée pour le calcul.

De plus, un calcul de rendement physiologique de course représentant la quantité d'oxygène consommée par rapport à la vitesse de course a été obtenue en divisant la VO₂ relative au poids par la vitesse moyenne de course pour effectuer les quatre sprints. Le calcul du rendement physiologique est un indicateur de l'efficacité à courir à une vitesse quelconque pour une quantité d'oxygène consommée exprimée avec les unités suivantes, ml/kg/m.

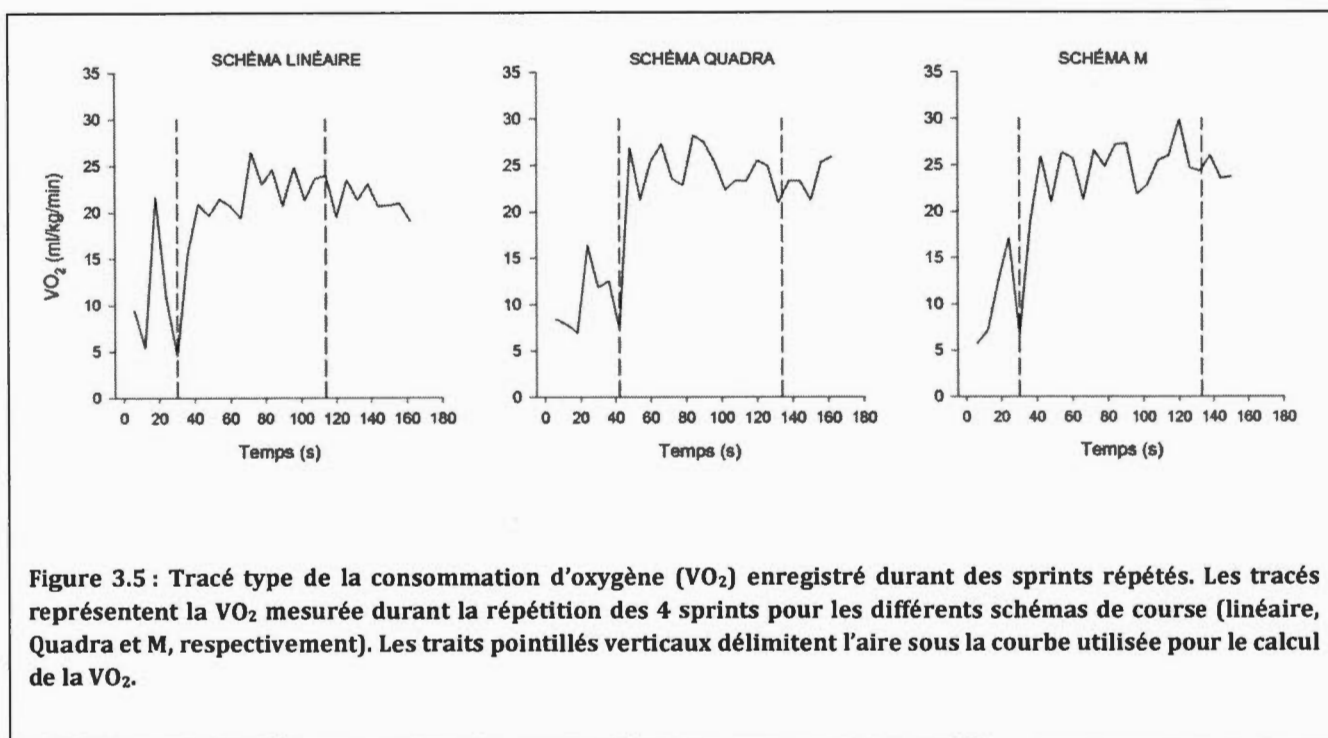


Figure 3.5 : Tracé type de la consommation d'oxygène (VO_2) enregistré durant des sprints répétés. Les tracés représentent la VO_2 mesurée durant la répétition des 4 sprints pour les différents schémas de course (linéaire, Quadra et M, respectivement). Les traits pointillés verticaux délimitent l'aire sous la courbe utilisée pour le calcul de la VO_2 .

8 QUANTIFICATION ET ANALYSE :

Les résultats sont présentés comme moyenne et écart type. Une analyse de la variance à mesures répétées a été effectuée afin d'identifier les différences significatives entre les trois conditions expérimentales (sprints droits, sprints carrés, sprints M). Si une différence significative était soulevée, le test de Tukey était utilisé pour identifier les paires significativement différentes. Un $p < 0,05$ a été retenu pour identifier les différences significatives.

CHAPITRE IV:

RÉSULTATS

Le Tableau 4.1 présente les caractéristiques physiques des participants (âge, taille et IMC).

Tableau 4.1. Caractéristiques physiques des participants

Âge (années)	Taille (m)	Poids (kg)	IMC (kg/m ²)
28.4 (8.37)	1.80 (0.04)	79 (7.97)	24.45 (2.20)
Moyenne (ÉT); IMC, indice de masse corporelle.			

Le Tableau 4.1 récapitule l'ensemble des caractéristiques physiques des joueurs qui ont été recrutés pour prendre part à la présente étude : n=10 joueurs de soccer (âge: 28.4 ± 8.37 ans ; taille : 1.80 ± 0.04 m; poids : 79 ± 7.97 kg et un indice de masse corporelle : 24.45 ± 2.20 kg/m²). L'indice de masse corporelle a été calculé en suivant la formule suivante : $IMC = \text{poids}/\text{taille}^2$

Le Tableau 4.2 présente la vitesse moyenne pour chaque schéma de course : Linéaire, Quadra et en forme de M.

Tableau 4.2 Vitesse moyenne pour chaque schéma de course

Linéaire (m/s)	Quadra (m/s)	M (m/s)
6,4 (0,44)*	4,5 (0,23)*	3,8 (0,12)*
Moyenne (ÉT). * Différence significative entre chaque schéma ($p < 0,05$)		

Il est à noter que la vitesse moyenne représente la somme des 4 sprints réalisée par chaque participant divisé par le nombre de répétitions (4). Tel qu'indiqué au Tableau 4.2, la vitesse moyenne pour chaque schéma de course est significativement différente entre chaque schéma ($p < 0,05$), où on peut noter que la vitesse moyenne pour le schéma linéaire > Quadra > M. De plus, la vitesse moyenne de course entre les différents schémas de course n'était pas corrélée (Linéaire vs Quadra, $r = 0,74$, $p = 0,22$; Linéaire vs M, $r = 0,56$, $p = 0,13$; Quadra vs M, $r = 0,38$, $p = 0,35$).

Le Tableau 4.3 présente la consommation d'oxygène (VO_2) relative au poids (ml/kg/min) et absolue (ml/min) associée au temps d'exécution des sprints pour chaque schéma de course: linéaire, Quadra et en forme de M. Le temps total représente la moyenne de la somme des 4 sprints réalisée pour chaque schéma de course. La VCO_2 (ml/min) et le quotient respiratoire (QR) sont aussi présentés pour chacun des schémas de course. Le rendement représente le VO_2 (ml/kg/min) divisé par la vitesse moyenne (m/min).

Tableau 4.3. La consommation d'oxygène (VO₂) associé au temps d'exécution des sprints pour chaque schéma de course.

Schéma de courses	VO ₂ (ml/kg/min)	VO ₂ (ml/min)	VCO ₂ (ml/min)	QR	Temps Moy (s)	Temps Total (s)	Rendement (ml O ₂ /kg/m)
Linéaire	24.5 (4.43)	2102 (315)	2470 (572)	1.33 (0.23)	6.25 (0.45)*	25.0 (1.82)*	0.06 (0.009)*
Quadra	25.4 (5.28)	2021 (355)	2702 (493)	1.36 (0.22)	8.93 (0.48)*	32.17(11.45)*	0.09 (0.017)
M	24.9 (4.02)	2019 (389)	2716 (574)	1.37 (0.23)	10.63 (0.35)*	42.53 (1.39)*	0.11 (0.018)

Moyenne (ÉT). * Différence significative entre chaque schéma (p<0,05).

La consommation d'oxygène relative au poids (ml/kg/min) présentée dans le Tableau 4.3 indique 24.5 ± 4.43 ml/kg/min pour le schéma de course linéaire, 25.4 ± 5.28 ml/kg/min pour le schéma Quadra et 24.9 ± 4.02 ml/kg/min pour le schéma en forme de M. La VO_2 absolue (ml/min) indique 2102 ± 315 ml/min pour le schéma de course linéaire, 2021 ± 355 ml/min pour le schéma Quadra et 2019 ± 389 ml/min pour le schéma en forme de M. Aucune différence significative entre la VO_2 pour les différents schémas de courses ($p > 0,05$).

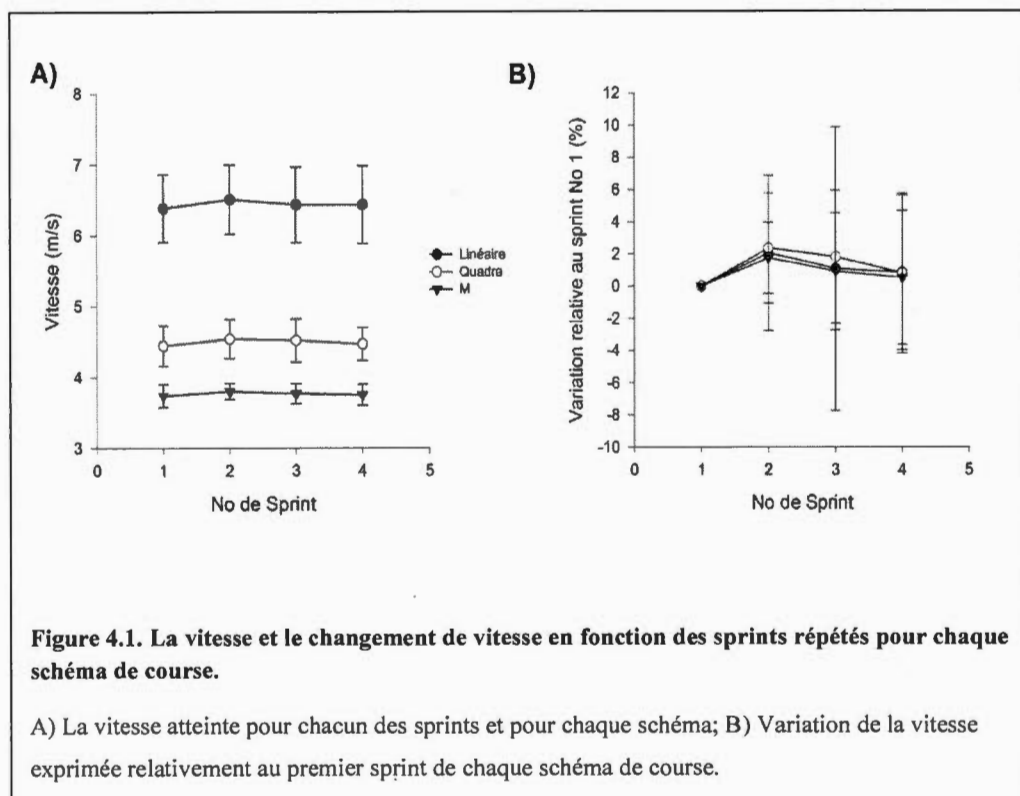
La VCO_2 (ml/min) présentée est de 2470 ± 572 ml/min pour le schéma de course linéaire, 2702 ± 493 ml/min pour le schéma Quadra et 2716 ± 574 ml/min pour le schéma en forme de M. Aucune différence significative entre la VCO_2 pour les différents schémas de courses ($p > 0,05$).

Pour le quotient respiratoire (QR) il est de 1.33 ± 0.23 pour le schéma de course linéaire, 1.36 ± 0.22 pour le schéma Quadra et 1.37 ± 0.23 pour le schéma en forme de M. Ici aussi Aucune différence significative entre la (QR) pour les différents schémas de courses ($p > 0,05$).

Pour le temps moyen, on note une différence significative entre les trois schémas de course réalisés, le même résultat est aussi observé pour le temps total ($p < 0,05$).

Il est important de noter que le rendement (ml/kg/m) présenté, à la dernière colonne du tableau 4.3, montre une différence significative ($p < 0,05$) entre le schéma de course linéaire et les deux schémas avec changement de direction soit, le Quadra et le M. Par contre aucune différence significative ($p > 0,05$) n'existe entre le Quadra et le M.

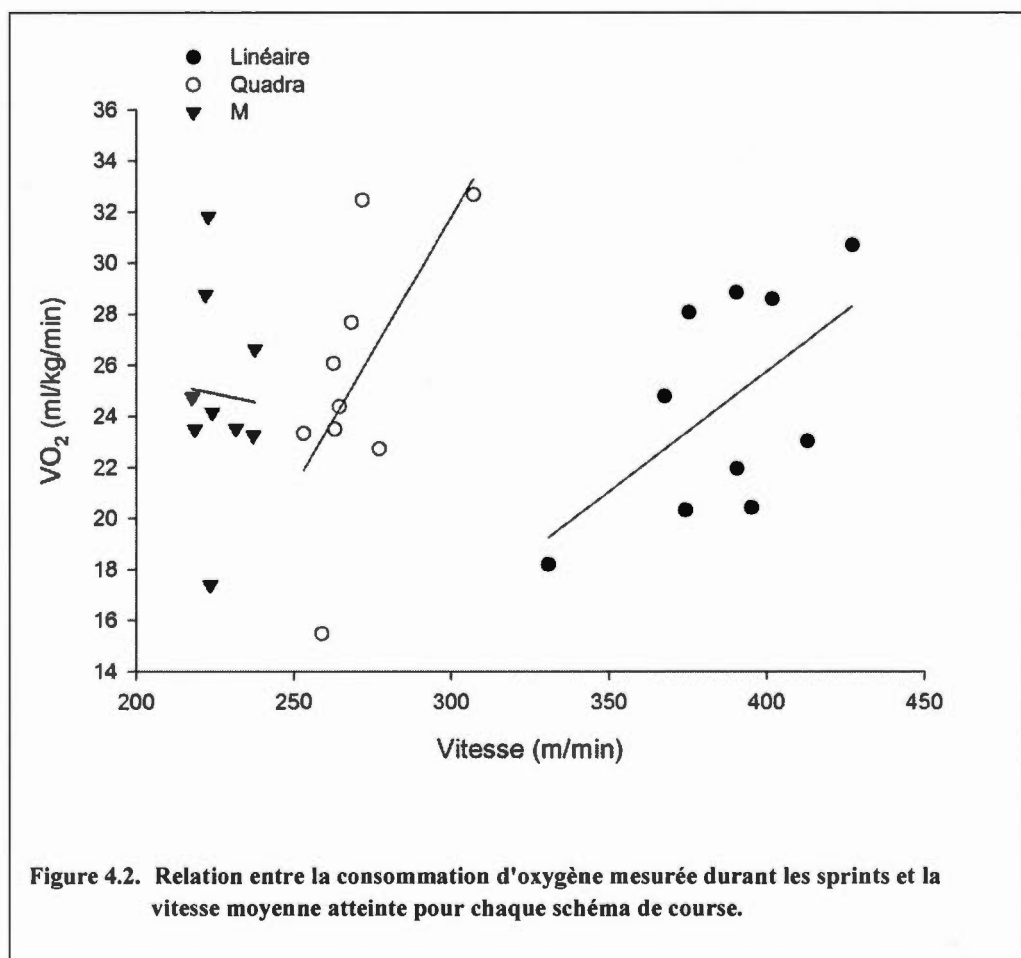
La Figure 4.1 illustre la vitesse atteinte durant chaque sprint pour chaque schéma de course.



On peut observer à la Figure 4.1A que la vitesse atteinte pour chaque sprint est significativement différente (intergroupe, $p < 0,05$) pour chaque schéma de courses. En d'autres termes la vitesse atteinte pour le schéma linéaire au sprint 1 est significativement différente de la vitesse atteinte pour le schéma Quadra, et significativement différente pour le schéma en M. Ceci est aussi vrai pour la vitesse atteinte lors des sprints 2, 3 et 4.

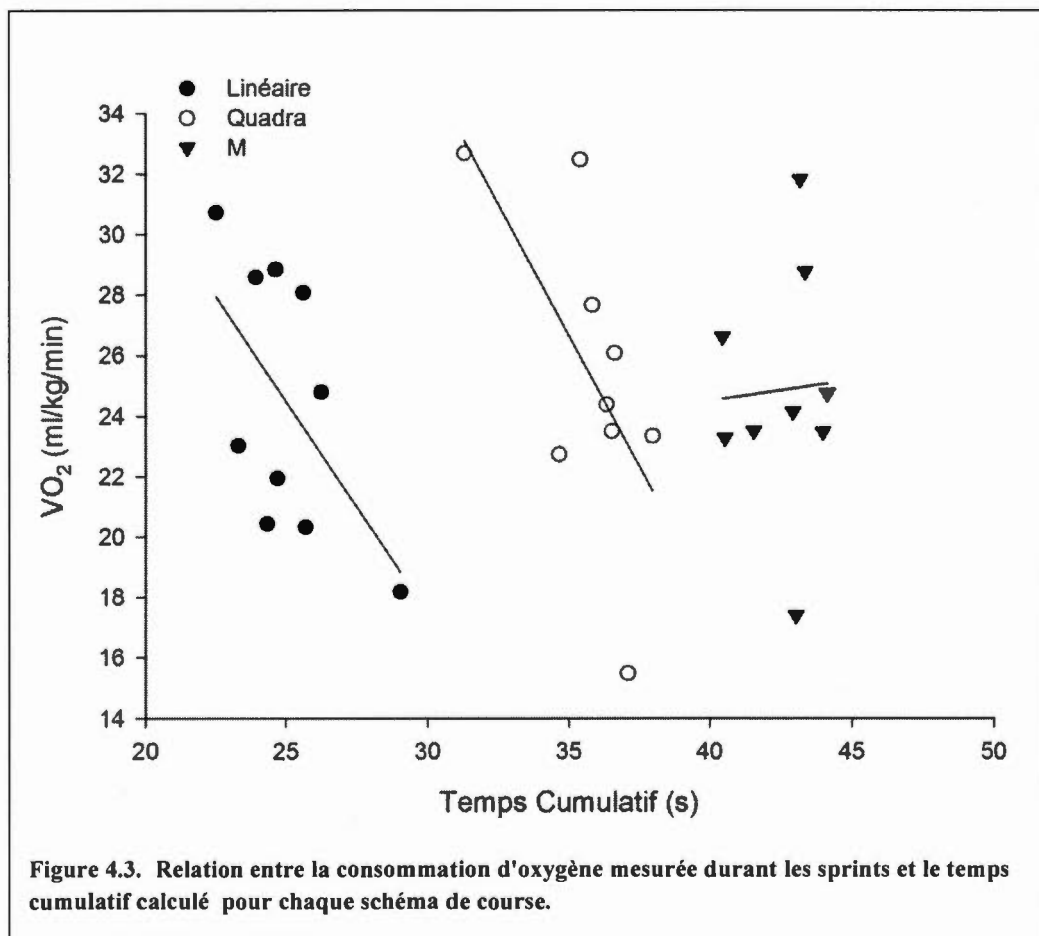
À la Figure 4.1B il n'existe aucune différence significative (intragroupe, $p > 0,05$) en d'autres termes, la légère amélioration de la vitesse lors du sprint numéro 2 par rapport au sprint numéro 1; même si existante est non significative ($p > 0,05$). Ceci est aussi valable pour les variations de la vitesse observées lors des sprints numéro 3 et 4.

La Figure 4.2 illustre la consommation d'oxygène (VO_2) moyenne atteinte par chaque participant durant chacun des schémas de course par rapport à la vitesse moyenne des quatre sprints, respectivement.



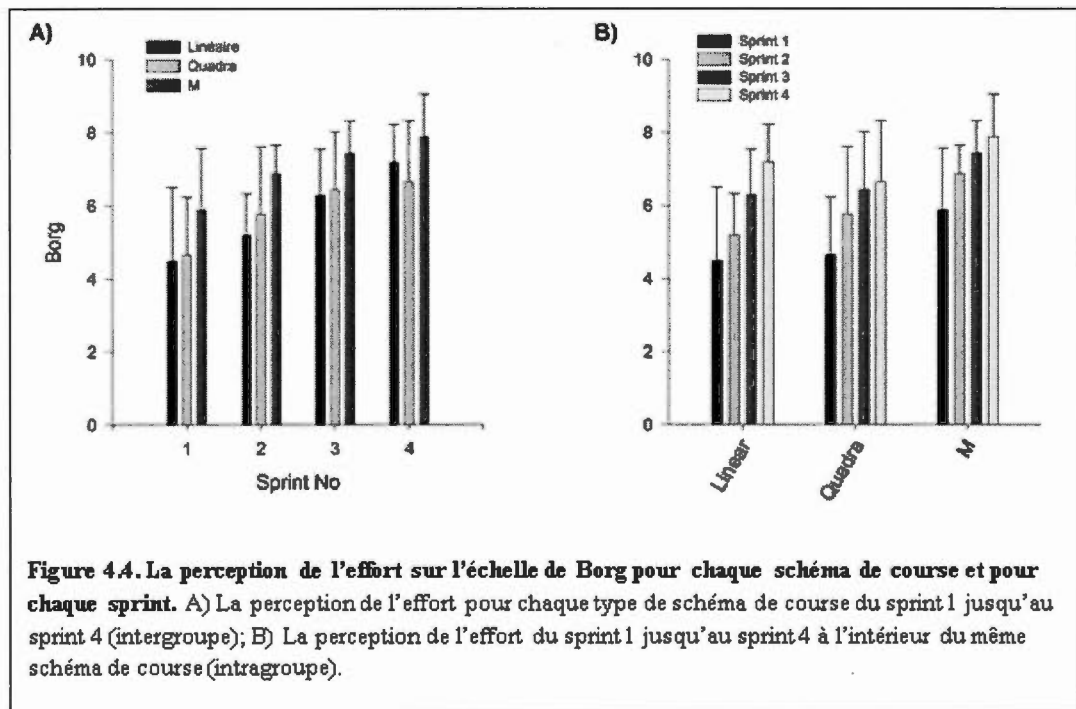
La relation entre le schéma de course Linéaire et la vitesse indique une corrélation de 0,58 ($p=0,08$) et pour le schéma Quadra une corrélation de 0,63 ($p=0,07$). Pour le schéma de course en M la corrélation est inexistante ($r=0,05$, $p=0,90$).

La Figure 4.3 illustre la consommation d'oxygène (VO_2) moyenne atteinte par chaque participant durant chacun des schémas de course par rapport au temps cumulatif respectif.



La relation entre le schéma de course Linéaire et le temps cumulatif indique une corrélation de 0,58 ($p=0,08$) et pour le schéma Quadra une corrélation de 0,63 ($p=0,07$). Pour le schéma de course en M la corrélation est inexistante ($r=0,05$, $p=0,90$). Le résultat qui apparaît sur cette figure indique que plus le temps d'exécution est court plus la consommation d'oxygène (VO_2) augmente.

La Figure 4.4 illustre la perception de l'effort lors de l'exécution de sprints répétés pour chaque schéma de course.



La Figure 4.4 A ne révèle aucune différence significative pour la perception de l'effort entre les schémas de course du sprint 1 jusqu'au sprint 4 (intergroupe, $p > 0,05$).

La Figure 4.4 B, toutefois, indique une augmentation significative de la perception de l'effort du sprint 1 jusqu'au sprint 4 à l'intérieur du même schéma de course (intragroupe, $p < 0,05$).

CHAPITRE V

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était de mesurer l'effet de changement de direction sur la dépense énergétique. En d'autres termes, notre objectif était de mesurer la consommation d'oxygène, associés à différents schémas de courses (linéaires et avec changement de direction) et à les comparer entre eux. Nos résultats indiquent que la consommation d'oxygène moyenne atteinte durant chacun des schémas de course est similaire. Toutefois, lorsque le rendement à la course est utilisé, il est possible de déceler des différences significatives où le rendement sprint linéaire > sprint Quadra > sprint M. En fait, nos résultats vont dans le sens de ceux présentés par Bekraoui et coll. (2015) où ils ont montré que la consommation d'oxygène augmente avec l'augmentation de la vitesse de course.

1. VITESSE DE COURSE ET CHANGEMENT DE DIRECTION

Les résultats de la vitesse moyenne présentés dans le Tableau 4.2 indiquent des différences significatives entre les différents schémas de courses. Le schéma le moins rapide est le schéma en forme de M, suivi par le Quadra qui est significativement plus rapide suivi par le linéaire qui est aussi significativement plus rapide que les deux autres schémas. Ceci nous amène à dire que plus on introduit des changements de direction, plus les participants ont tendance à ralentir pour l'exécution des schémas les plus complexes. Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par Almansba, (2013) qui a aussi rapporté des différences significatives (indice de performance) sur la vitesse de course en comparant un schéma de course linéaire et un autre quadrangulaire. De plus, nous n'avons observé aucune corrélation significative pour la vitesse de course moyenne entre les différents schémas. Nos résultats sont

semblables à ceux obtenus par Haj Sassi et coll. (2009) qui, eux aussi, n'indique aucune corrélation entre les indices de performance des deux épreuves (sprint linéaire et sprint avec changement de direction)

Nos résultats viennent aussi confirmer les données de la littérature relatives à la relation entre les sprints isolés en ligne et avec changements de direction (Baker, 1999; Draper et Lancaster, 1985; Thomas et Williams, 2007; Pauole et coll., 2000; Young et Montgomery, 2002)

D'un point de vue méthodologique, des conditions idéales de comparaison de schémas de courses auraient imposé une vitesse moyenne de courses identiques ou même semblables comme celle effectuée dans les études de Léger et coll. (1984) et de Léger et Boucher (1980) qui en comparant la course navette à la course continue avec des vitesses de courses identiques ont trouvé des différences significatives entre les valeurs de VO_2 .

Il semble apparaître qu'une différence significative entre la vitesse moyenne a, sans doute, affecté notre comparaison de la consommation d'oxygène. Néanmoins, malgré les changements de direction, les valeurs de consommation d'oxygène entre les trois schémas de course étaient similaires, soulevant que l'effort pour effectuer les changements de direction, malgré une chute de vitesse, requiert une certaine quantité d'oxygène pour être exécuter.

La vitesse atteinte pour chacun des sprints et pour chaque schéma de course (Figure 4.1A) dans la présente étude est en accord avec l'étude de Buchheit et coll. (2010). En fait, Buchheit et coll. (2010) indiquent que des vitesses plus lentes étaient observées pour les schémas de courses avec changement de direction comparé à des schémas de courses sans changement de direction. Ces différences de vitesse observées dans la présente étude et celle de Buchheit sont causées par les décélérations et accélérations associées aux changements de direction qui est absente lors de sprint linéaire.

La tendance pour la meilleure performance de vitesse dans la présente étude a été observée au cours de la deuxième répétition pour tous les schémas de course (Figure 4.1B). Ces résultats sont peut-être attribuables aux effets d'apprentissage et de manque de familiarisation des joueurs avec les schémas de courses proposés, surtout les deux schémas avec changement de direction.

Nos résultats sont similaires à l'étude d'Almansba (2013) qui a mentionné que la répétition de 6 sprints linéaires et 6 sprints quadrangulaires, les meilleures performances étaient observées lors du 3^e sprint pour ensuite chuter au 6^e sprint. Almansba (2013) a attribué cette chute de performance du 1^{er} au 6^e sprint au facteur de la fatigue musculaire et de l'insuffisance de temps durant la période de récupération de 20 secondes entre les répétitions.

Néanmoins, dans la présente étude, l'habileté de changement de direction variait entre les participants où certains joueurs semblaient être plus talentueux que d'autres et ceci peut avoir affecté les résultats de la vitesse et, surtout du VO_2 requis pour effectuer les changements de direction. Toutefois, des entraînements de soccer qui incorporent des changements de direction peuvent être pertinents pour une optimisation du rendement lors des matches.

Un autre point ressortant de la présente recherche est que le changement de direction affecte la vitesse moyenne (Tableau 4.2 : différence significative $p < 0,05$) réalisée dans chaque schéma de course et par conséquent le temps moyen (Tableau 4.3 différences significatives $p < 0,05$). En d'autres termes, plus le schéma de course contient des changements de direction plus la vitesse moyenne est lente et plus le temps moyen est lent. Ceci est en accord avec une étude de Young et coll. (2001) qui a rapporté que l'angle et/ou le nombre de changements de direction augmentent significativement la durée de temps du sprint.

2. CONSOMMATION D'OXYGÈNE ET CHANGEMENT DE DIRECTION :

Contrairement à nos attentes, les 3 schémas de course présentent une consommation d'oxygène semblable sans aucune différence significative. Ceci concorde avec les résultats de Buchheit et coll. (2010) qui ont comparé deux séries de 6 sprints de 25 m en ligne droite à une course navette (2 x 12.5m). Ils n'ont rapporté aucune différence significative entre les sprints avec et sans changements de direction quant à la consommation d'oxygène.

Dans la présente étude, l'augmentation de la consommation d'oxygène c'est dévoilée lorsqu'on a calculé le rendement (à partir de la consommation d'oxygène associée à des changements de direction par rapport à la vitesse moyenne pour chaque schéma de courses, en premier lieu (Tableau 4.3 et la pente des droites de la Fig. 4.2) et en deuxième lieu, la consommation d'oxygène par rapport au temps cumulatif pour chaque schéma de course (Tableau 4.3 et la pente des droites de la Fig. 4.3).

Cela dit, une différence significative de rendement énergétique a été observée entre le schéma linéaire par rapport au Quadra et par rapport au M, mais aucune différence entre le M et le Quadra. Toutefois, nos résultats de mesure de consommation d'oxygène (VO_2) indiquent qu'à une vitesse moyenne variant entre 23, 16 et 14 km/heure (Tableau 4.2, sprint linéaire, Quadra et M, respectivement), les schémas de courses avec (Quadra, 90° et M, 45°) et sans changement de direction (Linéaire) résulte en une consommation d'oxygène similaire. Nos résultats sont semblables à l'étude de Bekraoui (2015) qui a rapporté qu'à une vitesse de 12.1 ± 0.8 les changements de direction de 90° et 180° ont des demandes physiologiques similaires. Donc, il apparaît important de calculer, comme nous l'avons fait, le rendement afin de démontrer les exigences physiologiques (VO_2) requises pour effectuer des changements de direction.

En fait, les résultats du rendement présentés à la dernière colonne du Tableau 4.3 et illustrés, dans les Figures 4.2 et 4.3 (les pentes des courbes) rapportent des différences de consommation d'oxygène (VO_2) relativement à la vitesse moyenne, c'est-à-dire, la relation de la consommation d'oxygène est directement proportionnel à la vitesse de course (Figure 4.2) et inversement proportionnel au temps cumulatif (Figure 4.3). Ceci est semblable aux études de Di Prampero et coll.(2005) et de Bekraoui (2015) qui ont rapporté une augmentation de la consommation d'oxygène avec l'augmentation de la vitesse. En effet pour le schéma en forme de M, où la vitesse diminue considérablement, la corrélation est inexistante (Figures 4.2 et 4.3), contrairement aux deux autres schémas de courses, et surtout pour le schéma de courses linéaire.

3. NOMBRE DE SPRINTS ET CONSOMMATION D'OXYGÈNE

Dans notre étude nous avons utilisé une approche de 4 sprints répétés. Nous avons retenu ce choix en se basant sur l'étude de Carter et coll. (2000) qui ont rapporté que la constante de temps pour l'atteinte d'une consommation d'oxygène stable se situe autour de 15.0 ± 2.0 sec pour la course et 18.0 ± 4.0 sec pour le vélo.

Dans ce même sens, l'étude de Gwenaël et coll. (2008), où les participants ont effectués un niveau de travail constant durant six minutes sur vélo stationnaire, indique une constante de temps de la consommation d'oxygène égale à 18.2 ± 5.1 sec.

En effet, la répétition de quatre sprints nous a permis d'atteindre une valeur de consommation d'oxygène qui est au début de l'atteinte de l'état stable. Le temps d'effort accumulé pour le schéma de course le plus rapide (sprint linéaire) est $25,0 \pm 1,82$ sec et pour le plus lent (schéma en M) est de 42.53 ± 1.39 sec. Donc, malgré ce grand écart, nous croyons avoir atteint des états de mesure de consommation d'oxygène à l'état stable entre les schémas de course, suggérant que 24 secs étaient possiblement suffisants. Toutefois, il serait préférable de recueillir des

mesures sur une durée de temps de 5 à 6 fois la constante de temps (1 min 30 sec).

4. PERCEPTION DE L'EFFORT :

Les résultats obtenus pour la perception de l'effort (RPE) ne présentent pas une différence significative (Figure 4.4A) entre les différents schémas de courses et par conséquent ne confirment pas l'hypothèse avancée au début de notre étude. Néanmoins, on peut observer une tendance où la RPE pour le schéma M semble être plus élevée. Si nous associons nos résultats obtenus pour le rendement (Tableau 4.3) avec les résultats obtenus pour la RPE (tendance à être plus élevée pour le schéma M), alors, nos résultats semblent aller dans le même sens de l'étude d'Ehsanollah et coll. (2014) qui ont rapporté une corrélation directe entre le RPE et la VO_2 .

5. LIMITES

Il est évident que c'est très difficile pour les recherches de refléter ce qui se passe réellement sur le terrain le jour de la compétition, ceci est jusqu'à nos jours irréalisables (avec un K4b²) et demeure la plus grande limite quant aux études qui s'intéressent à la consommation d'oxygène.

Dans le même sens, les protocoles (nombre de répétition, temps de récupération, etc...) utilisés par divers chercheurs tentent aussi de s'approcher le plus de la réalité de la compétition afin de donner une vision plus claire pour les entraîneurs et les préparateurs physiques afin de les aider dans la conception de leurs programmes d'entraînement

Au cours de notre étude, le nombre de répétitions était de 4 sur une distance de 40m. Nous avons retenu 4 répétitions par souci de temps requis pour la passation des

épreuves de course qui semblaient exigeantes, c'est-à-dire, 4 sprints X 3 schémas de courses, pour un total de 12 sprints en une séance d'une heure de collectes de données. À la lumière des résultats de la présente étude, il serait probablement possible et surtout intéressant de vérifier l'exigence physiologique avec un protocole plus long (6 répétitions par exemple) ou sur des distances plus courtes, ex., 20m.

Pour de futures recherches, nous suggérons aussi, de limiter le facteur de l'âge des participants, en effet pour notre étude nous estimons que le groupe a été peu homogène quant à l'âge des participants (18 à 38 ans) et aussi peu homogène quant au niveau d'entraînement des participants (certains joueurs étaient physiquement plus en forme que d'autre). Le nombre de participants ($n=10$) a été aussi un des plus grands défis que nous avons rencontré au cours de notre recherche le recrutement a été difficile.

CONCLUSION

En conclusion, malgré que la consommation d'oxygène, en tant que tel, n'ait pas varié d'un schéma à l'autre, le rendement était inversement proportionnel au schéma de course (du plus simple, linéaire, au plus complexe, M). En d'autres termes; malgré que la vitesse moyenne a baissé considérablement en rajoutant des changements de direction à nos schémas de courses, la consommation d'oxygène est demeurée la même, c.-à-d., schémas de courses plus complexes « --- vitesse moyenne de course diminuée --- » même quantité d'oxygène consommé. Cela dit, théoriquement, si les participants étaient capables de maintenir leur vitesse même avec des schémas plus complexes, on aurait probablement obtenu, des valeurs plus élevées de VO_2 . Donc, avec les résultats de la présente étude, cela semble indiquer que le changement de direction requiert une quantité d'oxygène plus élevée pour effectuer les mouvements.

Les résultats obtenus lors de notre recherche par rapport à la consommation d'oxygène en tant que tel. Ou bien surtout pour le rendement (VO_2 / vitesse et VO_2 / temps cumulatif), fournit des informations très utiles qui peuvent être prises en considération par les entraîneurs et les préparateurs physiques lors de programmation des entraînements quand a l'obligation d'intégrer la course avec changement de direction à leur pratique. Ceci sera sans doute bénéfique pour la familiarisation, l'efficacité technique et surtout pour les adaptations physiologiques.

Une suite logique de cette étude serait de comparer une course linéaire à un schéma avec changements de direction, ou le participant doit être capable de maintenir la vitesse moyenne et avec un protocole de 6 répétitions.

APPENDICE



Formulaire de Consentement :

«IMPACT DE LA COURSE AVEC CHANGEMENT DE DIRECTION SUR LA
DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE CHEZ LES JOUEURS DE SOCCER»

IDENTIFICATION

Chercheur responsable du projet : Nesrine Dahmane

Programme d'enseignement : Département des sciences de l'activité physique
(maîtrise en de Kinanthropologie)

Adresse courriel : nesrinedahmane@hotmail.com

Téléphone : 438-992-7466

BUT GÉNÉRAL DU PROJET ET DIRECTION

Vous êtes invité à prendre part à ce projet visant à comparer les dépenses énergétiques dans 3 situations de courses différentes sur une distance totale de 40 m à chaque situation avec des angles de changements de direction différents pour chaque schéma.

Il va par conséquent mesurer différents aspects physiologiques (la fréquence cardiaque et la consommation maximale d'oxygène). Ce projet est réalisé sous la direction d'Alain-Steve Comtois, professeur du département des sciences de l'activité

physique de la Faculté des Sciences. Il peut être joint au (514) 987-3000 poste 1506 ou par courriel à l'adresse : comtois.alain-steve@uqam.ca

PROCÉDURE(S) OU TÂCHES DEMANDÉES AU PARTICIPANT

Votre participation consiste à effectuer :

- 4 sprints linéaires sur 40 m avec 20 secs de récupération passive.
- 4 sprints avec changement de direction sur 40 m (forme de carré) avec 20 secs de récupération passive.
- 4 sprints avec changement de direction sur 40 m (forme de M) avec 20 secs de récupération passive.
- Avec 10 min de récupération entre les situations.

Vous allez être muni d'un appareil de mesure (K4b²) qui va nous informer sur la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène. On va aussi vous demander une auto-évaluation de l'intensité de l'effort (échelle de Borg)

- Après chaque passage,
- 30 minutes après la fin de chaque test
- A la fin des 3 tests.

AVANTAGES et RISQUES

Vous allez bénéficier d'une évaluation de la condition physique, et spécifiquement une évaluation de votre niveau de course avec changement de direction.

Étant donné que vous êtes un joueur de soccer de bon niveau, vous possédez une bonne condition physique, ce qui diminue les risques de passer ce type d'évaluation. Il est à noter qu'un léger inconfort peut survenir par le port du masque (essoufflement, sudation plus abondante au niveau du nez et de la bouche), mais sans risque pour

votre santé.

Il existe un risque minime de blessure associée aux changements de direction. Toutefois, l'intensité des efforts à produire est égale à celui que vous ressentez durant les matchs et les pratiques.

ANONYMAT ET CONFIDENTIALITÉ

Il est entendu que les renseignements recueillis lors de l'entrevue sont confidentiels et que seuls le responsable du projet et son directeur de recherche auront accès à votre enregistrement et au contenu de sa transcription. Le matériel de recherche (enregistrement numérique et transcription codés) ainsi que votre formulaire de consentement seront conservés séparément sous clé par le responsable du projet pour la durée totale du projet. Les enregistrements ainsi que les formulaires de consentement seront détruits 5 ans après les dernières publications.

PARTICIPATION VOLONTAIRE

Votre participation à ce projet est volontaire. Cela signifie que vous acceptez de participer au projet sans aucune contrainte ou pression extérieure, et que par ailleurs vous êtes libre de mettre fin à votre participation en tout temps au cours de cette recherche. Dans ce cas les renseignements vous concernant seront détruits. Votre accord à participer implique également que vous acceptez que le responsable du projet puisse utiliser aux fins de la présente recherche (articles, mémoire, essai ou thèse, conférences et communications scientifiques) les renseignements recueillis à la condition qu'aucune information permettant de vous identifier ne soit divulguée publiquement à moins d'un consentement explicite de votre part.

COMPENSATION FINANCIÈRE

Votre participation à ce projet est offerte gratuitement. Un résumé des résultats de

recherche vous sera transmis au terme du projet.

DES QUESTIONS SUR LE PROJET OU SUR VOS DROITS?

Vous pouvez contacter le responsable du projet Nesrine Dahmane au numéro 438-992-7466 pour des questions additionnelles sur le projet. Vous pouvez également discuter avec le directeur de recherche Alain-Steve Comtois au numéro (514) 987-3000 poste 1506 des conditions dans lesquelles se déroule votre participation et de vos droits en tant que participant de recherche.

Le projet auquel vous allez participer a été approuvé au plan de l'éthique de la recherche avec des êtres humains. Pour toute question ne pouvant être adressée au directeur de recherche ou pour formuler une plainte ou des commentaires, vous pouvez contacter le Président du Comité d'éthique de la recherche pour étudiants (CÉRPÉ), par l'intermédiaire de son secrétariat au numéro (514)-987-3000 # 1646 ou par courriel à : (savard.josée@uqam.ca).

REMERCIEMENTS

Votre collaboration est importante à la réalisation de ce projet et nous tenons à vous en remercier.

SIGNATURES :

Je reconnais avoir lu le présent formulaire de consentement et consens volontairement à participer à ce projet de recherche. Je reconnais aussi que le responsable du projet a répondu à mes questions de manière satisfaisante et que j'ai disposé suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer. Je comprends que ma participation à cette recherche est totalement volontaire et que je peux y mettre fin en tout temps,

sans pénalité d'aucune forme, ni justification à donner. Il me suffit d'en informer le responsable du projet.

Signature du participant :

Date :

Nom (lettres moulées) et coordonnées :

Je déclare avoir expliqué le but, la nature, les avantages, les risques du projet et avoir répondu au meilleur de ma connaissance aux questions posées.

Signature du responsable du projet :

Date :

Nom (lettres moulées) et coordonnées :

Certificat d'accomplissement :



Certificat d'éthique :

UQAM | Comités d'éthique de la recherche
avec des êtres humains

No. de certificat: 1319

Certificat émis le: 11-10-2016

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE 3: sciences et sciences de l'éducation) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains (Janvier 2016) de l'UQAM.

Titre du projet:	IMPACT DE LA COURSE AVEC CHANGEMENT DE DIRECTION SUR LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE CHEZ LES JOUEURS DE SOCCER
Nom de l'étudiant:	Nesrine DAHMANE
Programme d'études:	Maîtrise en kinanthropologie
Direction de recherche:	Alain Steve COMTOIS

Modalités d'application

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.



Jacinthe Giroux

Professeure
Présidente du CERPE 3

BIBLIOGRAPHIE

- Aziz Abdul Rashid, & TEH Kong Chuan(2004)
Correlation between Tests of Running Repeated Sprint Ability and Anaerobic Capacity by Wingate Cyding in Mjlti-Sprint Sports Athletes. Sports Medicine&Research Centre, Singapore Sports Council, Singapore
- Almansba Ramdane (2013)
Force, puissance musculaire et aptitude à répéter des sprints linéaire ou quadrangulaire chez les footballeurs u17 d'élite canadiens
- Apor, P. (1988).
Successful Formulae for Fitness Training. In T. Reilly, A. Less, K. Davids& J. Murphy (Eds.), In: Science and Football (pp. 95-106): E&F. N. Spon, London/New York.
- Baker, D. (1999b).
The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. Journal of Strength and Conditioning Research.
- Bekraoui Nabyl (2015)
Coût bioénergétique des modes de déplacements irréguliers en sport
- Bangsbo, J., Norregaard, L., and Thorsoe, F. (1991).
Activity profile of competition soccer. Canadian Journal of Sports Sciences 16,110-116.
- Bangsbo Jens(December 1994).
Original description of the test: Fitness Training in Soccer, a scientific approach - by, publisher August Krogh Institute - Copenhagen University.
- Barlett's ,barlett'sroget's thesaurus 1996 : little brown and company
Physiological and Metabolic Responses of Repeated-Sprint Activities Specific to Field-Based Team Sports
- Basset DR, Howley ET. (2000)
Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Med Science sports exer. 32(1): 70-84.

- Billat, VL, Hamard, L, and Koralsztejn, JP (2002)
The influence of exercise duration at $\dot{V}O_{2\max}$ on the off-transient pulmonary oxygen uptake | 7 Journal of Strength and Conditioning Research the TM www.nsca-jscr.org phase during high intensity running activity. 2002.
- Billat Véronique, Laurence Hamard, Jean Pierre Koralsztejn, R. Hugh Morton (2009)
Differential modeling of anaerobic and aerobic metabolism in the 800-m and 1,500-m run Journal of Applied Physiology Published 1 August 2009
- Bishop D, D Bonetti, B Dawson (2002)
The influence of pacing strategy on $\dot{V}O_2$ and performance. Medicine and Science in Sports and Exercise.
- Bloomfield, J., Ackland, T. R., & Elliot, B. C. (1994).
Applied anatomy and biomechanics in sport. Melbourne, VIC: Blackwell Scientific.
- Bloomfield Jonathan, Polman Remco, and Peter O'Donoghue (2007)
Physical demands of different positions in FA Premier League soccer journal of Sports Science and Medicine (2007)
- Borg, G. (1998)
Borg's perceived exertion and pain scales. Champaign IL: Human Kinetics.
Brewer, J., Ramsbottom, R. & Williams, C. (1988). Multistage fitness test. Leeds: National Coaching Foundation.
- Brian B. Parr¹, Scott J. Strath², David R. Bassett, Jr., and Edward T. Howley
Validation of the Cosmed K4b2 Portable Metabolic Measurement System
Article (PDF Available) in Medicine & Science in Sports & Exercise 33(5) · May 2001 with 667 Reads DOI: 10.1097/00005768-200105001-01691
- Bricki et Dekkar. 1987
Test technique d'évaluation physique des athlètes, Travaux et recherches en EPS : Evaluation de la valeur physique, INSEP, 1987 ; 7 : 7-35.
- Brughelli, M., Cronin, J., Levin, G. and Chaouachi, A. (2008)
Understanding change of direction ability in sport: a review of resistance training studies. Sports Medicine.
- Buchheit M¹, Bishop D, Haydar B, Nakamura FY, Ahmaidi S 2010
Physiological responses to shuttle repeated-sprint running. 2010

- Buttifiant, D., Graham, K., & Cross, K. (1995).
Agility and speed in soccer players are two different performance parameters.
Paper presented at the Science and Soccer IV Conference, Sydney, NSW.
- Carter H1, Pringle JS, Jones AM, Doust JH. 2002
Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. *Eur J ApplPhysiol.* 2002 Feb;86(4):347-54.
- Castagna Carlo;Manzi Vincenzo 2007
D'ottavioStefano;AnninoGiuseppe;PaduaElvira;Bishop David(2007)
Relation between maximal aerobic power and the ability to repeat sprints in young basketball players.*Journal of Strength & Conditioning Research*:November 2007
- Catarina Abrantes., Maças V., Sampaio J. (2004) .
Variation in soccer players' sprint test performance across different ages and levels of competition. *Journal of Sports Science and Medicine.*
- Cazorla G and Farhi A. 1998.
Soccer: exigences physiques et physiologiques actuelles. *Revue EPS* 273: 60-66, 1998.
- Cazorla.G, L. B. Ezzeddine-Boussaidi, J. Maillot,2008
Qualités physiques requises pour la performance en sprint avec changements de directions types sports collectifs.2008
- Chelladurai, P. (1976).
Manifestations of agility. *Canadian Association of Health, Physical Education, and Recreation*, 42, 36 41.
- Dellal Alexandre (Décembre 2008)
Analyse de l'activité physique du footballeur et de ses conséquences dans l'orientation de l'entraînement: application spécifique aux exercices intermittents courses à haute intensité et aux jeux réduits
- Dawson B, Fitzsimons M, Ward D.(1993)
The relationship of repeated sprint ability to aerobic power and performance measures of anaerobic work capacity and power. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport.* 1993
- Di Prampero PE1, Fusi S, Sepulcri L, Morin JB, Belli A, Antonutto G.(2005)

- Sprint running: a new energetic approach. *J Exp Biol.* 2005 Jul;
- Di Salvo V1, Baron R, Tschan H, CalderonMontero FJ, Bachl N, Pigozzi F. 2007
Performance characteristics according to playing position in elite soccer. 2007
- Draper, J. A., & Lancaster, M. G. (1985).
The 505 test: A test for agility in the horizontal plane. *Australian Journal for Science and Medicine in Sport.*
- Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, Wong P. (2004) –
Accuracy and reliability of Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *J Sci Med Sport.* 7(1): 150-155.
- Ehsanollah Habibi, HabibollahDehghan, Mohammad Moghiseh, and Akbar Hasanzadeh1(2014)
Study of the relationship between the aerobic capacity (VO₂ max) and the rating of perceived exertion based on the measurement of heart beat in the metal industries EsfahanPublished online 2014 Jun 23.
- Faude O1, Koch T, Meyer T. (2012)
Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci.* 2012; 30(7):625-31. doi: 10.1080/02640414.2012.665940. Epub 2012 Mar 6.
- Foster C1, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, Doleshal P, Dodge C. (2001)
A new approach to monitoring exercise training.(2001)
- Fitzsimons M, Dawson B, Ward D, Wilkinson A(1993).
Cycling and running tests of repeated sprint ability. *Aus J Sci Med Sport.* 1993
- Getchell, G. (1979)
Physical Fitness a way of life, 2nd ed. New Jersey, John Wiley and Sons
- Gwenael Layec 1, Millet GP, Jougla A, Micallef JP, Bendahan D.(2008)
Electrostimulation improves muscle perfusion but does not affect either muscle deoxygenation or pulmonary oxygen consumption kinetics during a heavy constant-load exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2008 Feb;102(3):289-97. Epub 2007 Oct 13.
- Haj Sassi R.,*, M. Haj Yahmed, W. Dardouria, M. Kachourib,C. Jerbia, Z. Gharbi
Relation entre les performances aux sprints répétées en ligne et avec changements

de direction(2009).

- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., & Hoff, J. (2001).
Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*, 33(11), 1925-1931.
- Hervé Assadi(2012)
Reponses physiologiques au cours d'exercices intermittents en course a pied
These en vue de l'obtention du grade de docteur d'université de Bourgogne.
- Hoff J1, HelgerudJ(2004)
Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations.
Sports Med.2004.
- IngebrigtsenJ1, Dalen T, Hjelde GH, Drust B, WisløffU.(2015)
Acceleration and sprint profiles of a professional elite football team in match play
J Sport Sci. 2015; Epub 2014 Jul 8
- Manuel d'utilisation du K4b²
https://sshs.exeter.ac.uk/media/universityofexeter/schoolofsportandhealthsciences/documents/equipment/Cosmed_K4b2_User_Guide.pdf
- McLaughlin JE, King GA, Howley ET, Basset DR, Ainsworth BE. (2001) –
Validation of the COSMED K4b2 Portable Metabolic System. *Int J Sports Med*. 22: 280-284.
- Marcello F.Iaia, Ermanno Rampinini, and Jens Bangsbo : Human Kinetics, Inc.
High-Intensity Training in Football.*International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2009, 4, 291-306 © 2009
- Mohr Magni, Peter Krstrup and Jens Bangsbo* *Journal of Sports Sciences*, 2003, 21, 519–528
Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue.
- Pauole K, Madole K, Garhammer J, Lacourse M, Rozenek R. (2000)
Reliability and validity of the T-test as a measure of agility,leg power, and leg speed in college-aged men and women. *JStrength Cond Res* 2000;14(4):443—50.
- Sheppard JM1, Young WB, Doyle TL, Sheppard TA, Newton RU(2006)
An evaluation of a new test of reactive agility and its relationship to sprint speed and change of direction speed.*JSci Med Sport*.

- Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B. & Goodman, C. (2005).
Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Medicine* .
- Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C, and Duffield R.(2 006)
Metabolism and performance in repeated cycle sprints: Active versus passive recovery. *MedSci Sports Exere* 38: 1492-1499, 2006.
- Sporis, G., Ruzic, L., &Leko, G. (2008b)
Effects of a new experimental training program on V.O₂max and running performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 48(2), 158-165.
- Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U (2005)
Physiology of soccer: an update. *Sports Med*.
- Thomas Little And. Williams. Alun G (2005).
Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *Journal of Strength and ConditioningResearch*.
- Thomas Little And. Williams. Alun G (2007).
Effects of sprint duration and exercise:rest ratio on repeated sprint performance and physiologicalresponse in professional soccer players. *J Strength Cond Res*2007;21(2):646—8.[26
- Thomas Haugen 2014
The role and development of sprinting speed in soccer(Doctoral thesis)
- Rampinini E1, Impellizzeri FM, Castagna C, Abt G, Chamari K, Sassi A, Marcora SM. (2007)
Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *J Sports Sci*. 2007 Apr;25(6):659-66.
- Vigne G1, Gaudino C, Rogowski I, Alloatti G, Hautier C
Activity profile in elite Italian soccer team 2010 May
- Weston Matthew, Carlo Castagna, Franco M Impellizzeri, ErmannoRampinini, Grant Abt (2007).
Analysis of physical match performance in English Premier League soccer referees with particular reference to first half and player work .*Journal of Science and Medicine in Sport*.
- Withers, R.T., Maricic, Z., Wasilewski, S. and Kelly, L. (1982)
Match analysis of Australian professional soccer players. *Journal of Human*

Movement Studies.

Wragg CB, Maxwell NS, DoustJH(2000).

Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *European Journal of Applied Physiology*.

Young, W.B., M. Hawken & L. McDonald. (1996).

Relationship between speed, agility, and strength qualities in Australian rules soccer. *Strength and conditioning coaches*.

Young WB, McDowell MH, Scarlett BJ(2001)

Specificity of sprint and agility training methods. *J Strength Cond Res* 2001.

Young WB, James R, Montgomery I. (2002)

Is muscle power related to running speed with change of direction? *J Sports Med Phys Fitness* 2002;42:282—3.

Young Warren, Steve Grace and Scott Talpey

Association between Leg Power and Sprinting Technique with 20-m Sprint Performance in Elite Junior Australian Soccer Players *Sports Science & Coaching*
Reprinted from *International Journal of Sports Science & Coaching* Volume 9 · Number 5 · 2014.

Yunsuk Koh and Ilgyu Jung.

Portable Metabolic Measurement System Accurately Measured Metabolic Variables During Sub and Maximal Exercise. *Journal of Korean Sport and Leisure Studies*, 31(44), 833-842, 2007.

<http://www.federation-soccer.qc.ca/index.php?lang=fr>

<http://www.fifa.com>